

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE TRES RÍOS DE LA
SUBCUENCA DEL “RÍO LIMÓN” EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN**

TESIS DE MAESTRÍA

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

PRESENTA:

ING. JULIO CÉSAR RÍOS SAUCEDO

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO

JUNIO DE 2005

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE TRES RÍOS DE LA
SUBCUENCA DEL “RÍO LIMÓN” EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN


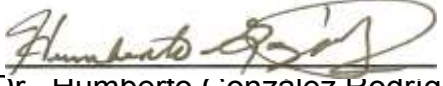
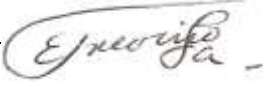
TESIS DE MAESTRÍA

PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA

ING. JULIO CÉSAR RÍOS SAUCEDO

COMITÉ DE TESIS

 Dr. José de Jesús Návar Chaidez Presidente	 Dr. Humberto Gonzalez Rodriguez Secretario
 Dr. Eduardo Javier Treviño Garza Vocal	
LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO	JUNIO DE 2005

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado el don vivir y permitirme la satisfacción de alcanzar una meta más en mi vida.

A MIS PADRES

Yolanda Saucedo Soto y Víctor Hugo Ríos por darme siempre lo mejor de ellos, por su esfuerzo incansable para abrirme camino en la vida, por los buenos consejos y sobre todo por darme la confianza y enseñarme que la humildad es la llave de la felicidad del hombre

A MI esposa

Elia margarita Rangel "Desde lo mas profundo de mi corazón" Gracias por tu amistad, tu amor, comprensión, apoyo incondicional y tu paciencia infinita.

A MI HIJA

Andrea Elizabet por la satisfacción que me ha dado sobre todo por el ánimo que siempre me ha transmitido, lo cual me alienta a seguir superándome.

A MIS HERMANOS

Concepción Guadalupe, Norma Adriana y Víctor Hugo, por la unión de familia que siempre hemos llevado, por el apoyo moral que siempre me han brindado en las etapas más difíciles de mi vida, por compartir con ellos pocos pero inolvidables momentos. A todos gracias...

A los compañeros del laboratorio

Humberto (El panza de ampolla), Jesu (La River), Rolando (El Chichif), Mari, Raul (El queso), Lalo, Martín, Chenco (El Tlacua), Merlín (El mago), Gabriel (el Tiki), José (El ing.), Ana (La fresa), Jorge. Manuel (El meño), Carlos. Con los que e pasado grandes experiencias en las salidas a campo y en el laboratorio.

AGRADECIMIENTOS

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme el apoyo económico a través una beca crédito para realizar mis estudios de Maestría en Ciencias Forestales, así como el apoyo parcial del proyecto Diagnostico, Atlas Cibernético y Plan de Manejo de las Cuencas Forestales. Clave No. CONACYT-CONAFOR con clave 2002-C01-6231.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León por aceptarme en su programa de maestría y las facilidades otorgadas para culminar con el presente estudio.

Al Dr. José de Jesús Návar Cháidez. Director del trabajo de tesis, por su excelente dirección, apoyo profesional en las diferentes etapas del trabajo, por sus valiosos consejos y observaciones, por la amistad y confianza que depositó en mi persona.

Al Dr. Humberto González Rodríguez. Por su valiosa participación en el presente trabajo de tesis, por sus atinados comentarios y excelentes sugerencias al termino del estudio.

Al Dr. Eduardo Javier Treviño Garza por aceptar ser parte del comité de tesis, y su contribución en la revisión del escrito.

Al Dr. Alejandro Zarate Lupercio por aceptar ser asesor externo del comité y por el apoyo que hasta la fecha siempre me ha brindado.

Al M.C. José Dueñez Alanis quien me ha enseñado que la humildad, el respeto y la constancia en el trabajo son el cimiento de la superación, gracias por su grata amistad.

Al M. C. Jorge Méndez por su colaboración en la digitalización del área de estudio y sus comentarios en la elaboración del presente trabajo.

A los maestros de la Facultad de Ciencias Forestales, por transmitir sus conocimientos para enriquecer mi formación.

CONTENIDO

Contenido.....	i
Índice de tablas.....	ii
Índice de figuras.....	ii

CAPÍTULO I

Evaluación de la calidad del agua de tres ríos de la subcuenca del Río Limón en el Estado de Nuevo León.

1.1. Resumen.....	1
1.2. Abstract.....	2
1.3. Introducción.....	4
1.4. Materiales y Métodos.....	5
1.4.1. Localización del área de estudio.....	5
1.4.2. Muestreo.....	11
1.4.3. Parámetros evaluados.....	12
1.4.4. Análisis estadístico.....	13
1.5. Resultados y Discusión.....	14
1.6. Conclusiones.....	20
1.7. Bibliografía.....	21

CAPÍTULO II

Análisis de los parámetros hidrodinámicos de los caudales de la subcuenca del Río Limón, en El estado de Nuevo León

2.1. Resumen.....	24
2.2. Abstract.....	25
2.3. Introducción.....	26
2.4. Materiales y Métodos.....	27
2.4.1. Localización del área de estudio.....	27
2.4.2. Metodología.....	36
2.5. Resultados y Discusión.....	38
2.6. Conclusiones.....	46
2.7. Bibliografía.....	47

INDICE DE TABLAS

CAPITULO I

Tabla 1.1. Valores promedio de los análisis hidrodinámicos, bacteriológicos y sus poblaciones de cada sitio de muestreo en la Subcuenca del Río Limón.....	14
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1. Subcuenca del “Río Limón”.....	5
Figura 1.2. Promedios mensuales e intervalos de confianza de coliformes fecales y totales, los constituyentes químicos.....	15
Figura 1.3. Diagrama del análisis de correspondencia canónica sin tendencia para cada uno de los sitios de muestreo de los ríos de la subcuenca del Río Limón.....	19

CAPÍTULO II

Figura 2.1. Subcuenca del Río Limón.....	28
Figura 2.2. esquema grafico donde se presenta el método de separación de hidrogramas de corriente del río Camacho para una fracción de tiempo durante el año 1999.....	37
Figura 2.3. Hidrograma de corriente del flujo base y directo de las estaciones hidrométricas de los ríos a) Camacho, b) Pablillo, c) Limón.....	40
Figura 2.4. Tendencia en tiempo de flujo base y flujo directo de las estaciones hidrométricas de los caudales del Río Pablillo (a y b), Camacho (c y d), Limón (c) respectivamente en la subcuenca del Río Limón.....	41
Figura 2.5. Superficies deforestadas de cambio y uso de suelo de la subcuenca del Río Limón.....	43
Figura 2.6. Porcentaje de superficie de usos de suelo y vegetación de la subcuenca del Río Limón.....	44
Figura 2.7. Proyección de población, de la superficie y el consumo del agua proyectado hasta el 2025.....	45
Figura 2.8. Tasa de cambio anual de flujo base y del agua utilizada en la agricultura de riego en la subcuenca del Río Limón.....	46

CAPÍTULO I

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE TRES RÍOS DE LA SUBCUENCA DEL “RÍO LIMÓN” EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN

1.1. Resumen

En el área de Linares, los cambios de uso de suelo, las prácticas agrícolas, citrícolas y ganaderas, el crecimiento urbano e industrial originan contaminación por fuentes difusas y puntuales. A pesar de esta problemática, se han realizado pocos estudios consistentes para entender la dinámica de la contaminación del agua de los Ríos de Nuevo León. El presente es un estudio sistemático pionero para entender la dinámica de la contaminación en tiempo y espacio, en las microcuencas de los Ríos Pablillo, Hualahuises, Camacho y Popote, de la subcuenca del Río Limón en el Sud este de Nuevo León. Los objetivos de este estudio fueron: a) estudiar las características hidrodinámicas, químicas y bacteriológicas de los Ríos señalados; b) estudiar el efecto del Área Metropolitana de Linares en los parámetros mencionados; y c) analizar las variaciones temporales de la cantidad y calidad del agua. Se ubicaron once sitios de muestreo considerando las micorcuencas como fuentes de variación (Hualahuises, Camacho, Pablillo y Limón), del Área Metropolitana (aguas arriba y abajo de la ciudad de Linares) y temporales (análisis semanal o mensual). Los parámetros a evaluar fueron propiedades hidrodinámicas (gasto), químicas (Conductividad Eléctrica, pH, Calcio, Magnesio, Sulfatos, Nitratos, Carbonatos, Bicarbonatos, Sodio y Cloruros) y bacteriológicas (coliformes totales y fecales). Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza donde las fuentes de variación fueron a) el tiempo, b) los Ríos y c) la ubicación de la estación con respecto a la mancha urbana de Linares. Además se aplicó un análisis multivariado para entender la similitud entre Ríos, estaciones y focos de contaminación. Los resultados mostraron que en general los niveles de los

parámetros biológicos sobrepasaron la NOM-127-SSA1994 para el consumo humano para todos los ríos para todas las fechas de monitoreo. De los constituyentes químicos ninguno sobrepaso los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua de la Comisión Nacional del Agua (CE-CCA-01/89). El análisis de varianza mostró que las concentraciones de constituyentes químicos (pH, CE, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}), fueron diferentes estadísticamente entre las fechas de muestreo, los Ríos y la posición con respecto a la ciudad de Linares. El análisis multivariado indicó tendencias claras en cuanto a la posición de las estaciones con respecto a la mancha urbana y la diferencia entre Ríos. Las aguas del Río Hualahuises se caracterizan por su geología y origen del cauce, por esta razón son muy disímiles a las aguas de los otros Ríos. Se recomienda realizar actividades tendientes a estudiar las fuentes de contaminación por coliformes para determinar las mejores actividades de remediación de la calidad del agua de los Ríos Hualahuises, Pablillo y Camacho de Nuevo León.

Palabras Clave: Coliformes, Urbanización, Dilución.

1.2. Abstract

The contamination of streams can be of point and non-point or diffuse origin. In the area of Linares, land use changes, agricultural, and grazing practices lead to non point sources of contamination of streams. Industrial and municipal discharges into streams are the main point sources of pollution. Regardless of this state of affairs, there are no systematic studies being conducted to determine the dynamics of stream pollution in time or space neither between watersheds. This study pioneers the systematic observation of stream water quality and quantity along the Pablillos, Camacho and Hualahuises rivers, with the following objectives: a) to study the hydrodynamic, biologic and chemical constituents of the rivers Pablillo, Hualahuises, Camacho, and Limón; b) to study the effects of the Metropolitan Area of Linares on stream water quality and quantity; and c) to analyze the temporal variations of the hydrodynamic,

bacteriological and chemical parameters. To accomplish these objectives, eleven sampling sites were established to account for the main sources of variation between watersheds (Pablillo, Hualahuises, and Camacho), the Metropolitan Area of Linares (above and below Linares); and time (monthly and weekly observations throughout one year). Parameters to evaluate consists on several chemical constituents (Electric conductivity, pH, Calcium, Magnesium, Sulfates, Nitrates, Carbonates, Bicarbonates, Sodium, and Chloride), bacteriological constituents (total coliform bacteria and total fecal bacteria), and hydrodynamic parameters (discharge). Data was statistically analyzed using a variance analysis were the main sources of variation studied were a) time, b) rivers, and c) location of the station with reference to the city of Linares. In addition, data was tested by a multivariate analysis (DCCA) to understand clusters, tendencies and major sources of variation. Results showed that bacteria (total and fecal) exceeded set standards (NOM-127-SSA1994) for all samples collected. However none chemical constituent exceeded set standards but concentrations of several constituents (pH , CE , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) varied according to time, river and location. The time source of variation was explained by increased discharge which appeared to control the concentration of several chemical constituents by dilution. DCCA results showed clear patterns and clusters of pollution explained by rivers and the position of the hydrometric station in reference to the city of Linares. Headwaters of the Hualahuises river are characterized by and they explain why the chemical concentration of several constituents resulted different in contrast to the Pablillos and Camacho rivers. The study of the different sources of bacteria pollution requires further attention to recommend the proper control measures.

Key words: Coliform bacteria, Urbanization, Dilution.

1.3. Introducción

La población en el Municipio de Linares Nuevo León, se ha incrementado de 33,012 habitantes en 1980 a 69,205 habitantes en el 2000 (INEGI, 2001). El constante crecimiento de la población, el desarrollo de las actividades industrial, agrícola y los cambios activos en el uso de suelo, demanda una mayor cantidad de agua con la calidad adecuada para satisfacer las demandas.

Las fuentes de contaminación del agua se han clasificado como difusas y puntuales. En el área de Linares, los cambios de uso del suelo de matorrales nativos a terrenos agropecuarios, desmontaron el 1.9% del municipio durante el periodo de 1973 a 1993 (Treviño *et al.*, 1996; Navar *et al.*, 2005), causando probablemente la aparición de fuentes difusas de contaminación como erosión de suelos, lavado de fertilizantes, herbicidas, etc. (Navar y Synnott, 2000). Los residuos sólidos (basureros municipales, residuos industriales) y líquidos (algunas de oxidación, descargas municipales en los ríos, letrinas y fosas sépticas) son fuentes de contaminación puntual que están contaminando los acuíferos y ríos de Linares (Lizarraga y Návar, 2005).

Los estudios preliminares sobre la calidad del agua indican que la contaminación puede ser un problema serio con tendencias a agravarse en el mediano plazo en el área de Linares. A pesar de esta observación se han realizado estudios sistemáticos sobre el problema de la contaminación del agua en el Río San Juan por Flores y Navar (2002). Sin embargo, en el área de Linares, no existen este tipo de estudios que reflejen la dinámica de la problemática de la contaminación. Por esta razón, los objetivos específicos fueron: a) medir las características hidrodinámicas, bacteriológicas y químicas de los caudales de los Ríos Pablillos, Hulahuises y Camacho en aguas arriba y abajo del área metropolitana de Linares, en la subcuenca del Río Limón; b) analizar las variaciones temporales y espaciales de las concentraciones de

algunos elementos hidrodinámicos, químicos y bacteriológicos; c) recomendar las actividades adecuadas para mejorar la calidad del agua de los ríos.

1.4. Materiales y Métodos

1.4.1. Localización del área de estudio. La Subcuenca del Río Limón se encuentra ubicada en la parte suroeste de la cuenca del Río San Fernando, en la región Hidrológica No. 25 San Fernando-Soto La Marina, ubicada dentro del estado de Nuevo León. Se encuentra entre los meridianos 99°15' Longitud Oeste y los paralelos 25°00' y 24°23' Latitud Norte que comprende una superficie de 1744.41 Km² (Figura 1.1). Dentro de la subcuenca del Río Limón se encuentran ubicados los municipios de Iturbide, Hualahuises y Linares

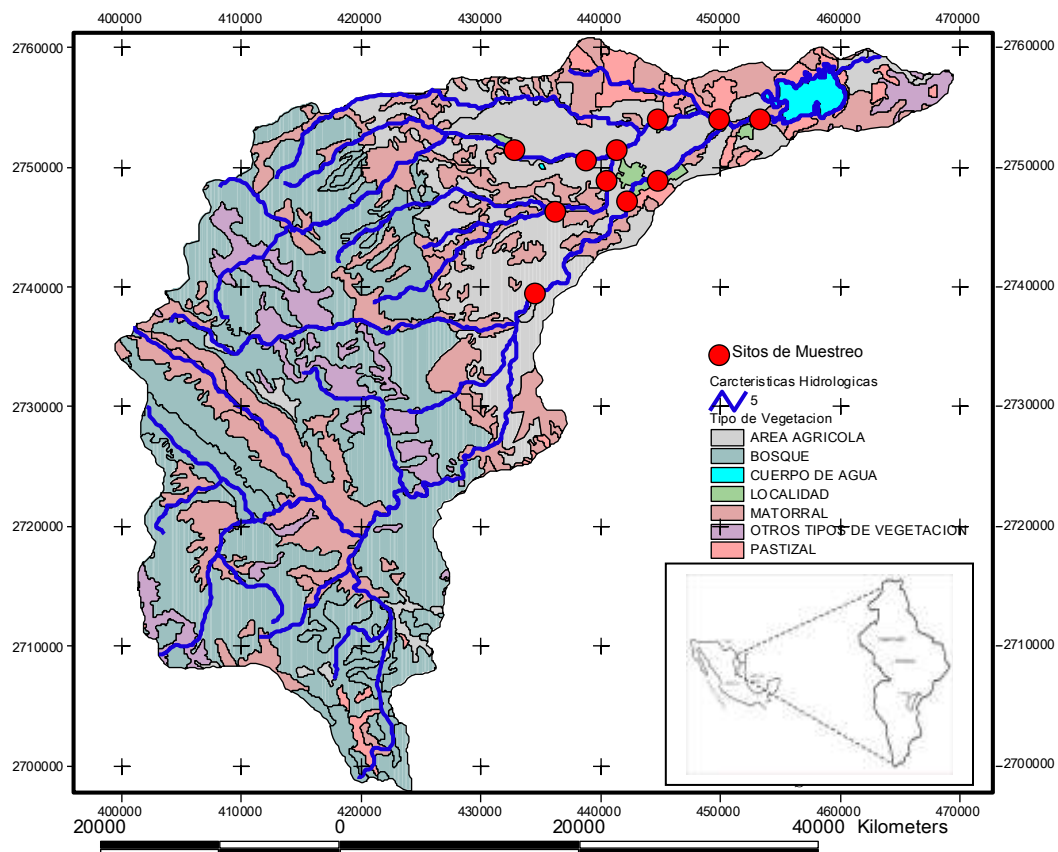


Figura 1.1.- Subcuenca del Río Limón.

El área estudiada queda comprendida dentro de dos Subprovincias fisiográficas siguientes. La Subprovincia Sierra Alta, perteneciente a la provincia de la Sierra Madre Oriental y la Subprovincia de Llanuras y Lomeríos que corresponde a la Planicie Costera del Golfo de México (SPP, 1986). Dentro de la subcuenca, se presentan altitudes que van desde poco menos de 300 msnm hasta los 3,000 metros. La Subcuenca del Río Limón pertenece a la región RH – 25 denominada San Fernando-Soto la Marina, de la vertiente del golfo de México. Está delimitada al norte con la subcuenca del Río Potosí, al este con la subcuenca del Río Conchos, ambas pertenecientes a la cuenca del Río San Fernando, al sur con la subcuenca del Río Soto la Marina y al Oeste con la región del Salado.

La forma de la cuenca es alargada – curvada – estrecha y se clasifica en intermedia-grande con un índice de circularidad de 0.4. La forma de la cuenca afecta considerablemente los hidrogramas de salida. Por ejemplo, en las cuencas alargadas, resultan hidrogramas de salida con tiempos de concentración mayores y picos de crecidas menores que en una cuenca de área semejante pero de forma circular (Figura 1.1) (Pissani, 1992).

El drenaje se presenta en dos patrones. En la Sierra Madre Oriental es del tipo dendrítico y angular y en la región plana del valle de Linares es dendrítico subparalelo. El tipo de las corrientes se consideran como perennes e intermitentes. Su orden es de tipo 4, según el esquema "Sthrahler" (Aparicio, 1989). La densidad de drenaje se considera regular según la clasificación anterior.

La corriente principal de la subcuenca es el Río Pablillo, el cual se origina a unos 16 Km. al Sureste del poblado de Galeana, N.L., a una altitud de 2200 msnm, seguido por el Río Camachito y el Río Hualahuises donde al juntarse forman el Río Conchos desembocando sus aguas en el vaso de la presa José López Portillo "Cerro Prieto".

Las rocas que afloran en la subcuenca, corresponden a sedimentarios del Jurásico Superior y Cretácico, cubierto por depósitos continentales del Terciario Inferior y Cuaternario. Las primeras constituyen el macizo montañoso localizado al poniente de la zona de estudio; estas rocas afloran también en lo que se considera la planicie Costera del Golfo, delineada por lomeríos bajos. Los segundos se encuentran cubriendo parcialmente a las anteriores, en las partes bajas formando mesetas (De León *et al.*, 1991).

De acuerdo con la calcificación climática de Köppen, modificada con García (1988), la zona esta representada por dos grupos climáticos, mismos que se dividen en subgrupos, tipos y subtipos. Es el grupo de climas templados húmedos: Cx' Templado subhúmedo con lluvias todo el año C (w_0), es el más seco de los templados subhúmedos con lluvias en verano; (A) C Subgrupo semicálido. b) Es el grupo de climas secos; BS1 Tipo seco o estepario, el menos seco de los BS1, con un cociente precipitación/temperatura de 22.9. Con base en un período de análisis de 15 años (1964 – 1979), y empleando el método de las Isoyetas, se obtuvo el valor de precipitación media anual para Subcuenca de 710 mm, variando desde 600 mm hasta 1000 mm en el área (Reyes, 2000). Con base en un período de análisis determinado de 30 años, de 1958 – 1998 para la temperatura y el método de los polígonos de Thissen se obtuvo un valor de temperatura media anual de 21.6°C. En la zona de Sierra Madre Oriental se presentan temperaturas menores, del orden de los 14°C y hacia el valle de Linares se incrementa hasta los 22°C y más (Návar, 1994). Para la información de la evaporación potencial se contó con los datos de las tres estaciones climatológicas que fueron las de Cerro Prieto, Camacho e Iturbide, registrándose una evaporación potencial media anual de aproximadamente 1700 mm. La evaporación potencial media máxima se registra en el mes de julio, siendo aproximadamente de 211 mm y una evaporación media mínima en diciembre de 75 mm (Návar, *et al* 1994).

De acuerdo a la carta edafológica de la CONABIO (2000) los tipos de suelos en

el área de estudio corresponden a los siguientes:

Cambisol: Presentan un horizonte "A" pélico y un "B" cámbico, con una saturación de bases del 50% o mayor cuando menos en algún subhorizonte; carecen de carbonatos en el horizonte "B" (los carbonatos pueden aparecer en el horizonte C)

Litosol: Suelos que se caracterizan por tener una profundidad menor de 10 cm hasta la roca, tepetate o caliche. Generalmente se localiza en las sierras, en las laderas, barrancas, lomeríos y en algunos terrenos planos. Debido a las condiciones geomorfológicas en que se encuentra esta unidad, es muy susceptible a erosionarse dependiendo de la cobertura vegetal presente.

Luvisol: Se caracterizan por tener una semejanza con el Acrisol, con un enriquecimiento de arcilla en el sub suelo, pero son más fértiles y menos ácidos.

Regosol: Son suelos que se pueden encontrar muchas veces acompañados de Litosol y de roca o tepetate que aflora; proviene de materiales inconsolidados, excepto los depósitos aluviales recientes, o de arenas ferralíticas, no tienen horizontes de diagnóstico, excepto tal vez de horizonte "A" pálido. Suelos someros y pedregosos.

Rendzina: Se caracterizan por presentar un horizonte "A" melánico, no mayor de 50 cms de espesor, y contener o encontrarse inmediatamente arriba de un material calcáreo que tiene más del 40% de carbonato de calcio equivalente, y no se presenta dentro de los primeros 25 cms de la superficie.

Vertisol: Esta unidad se caracteriza por las grietas anchas y profundas de 1 cm de ancho con una profundidad de 50 cm en la época de sequía, a menos que estén bajo riego. Abajo de los 20 cm (arados) tienen un 30% o más de arcilla en todos los horizontes, por lo menos dentro de los primeros 50 cm de la superficie. Su utilización agrícola es muy extensa, variada y productiva, son suelos casi siempre fértiles, difíciles en su manejo ya que la dureza dificulta la labranza y con frecuencia manifiestan problemas de inundación.

Xerosol: Se caracterizan por tener un horizonte "A" pálido bien desarrollado, presentan una capa superficial de color claro muy pobre de humus. Debajo de

ésta puede haber un sub suelo rico en arcillas.

Tipos de vegetación que predominan son a) el matorral espinoso tamaulipeco, b) el matorral submontano, c) los bosques esclerófilo de encino, d) los bosques de pino-encino en sus diferentes mezclas, e) chaparral y f) matorral desértico rosetófilo. El matorral submontano se distribuye en la Planicie Costera del Golfo, en las laderas de barlovento de la Sierra Madre Oriental. Se desarrolla sobre suelos calizos o coluviales entre los 480 y los 1800 msnm, con una precipitación media anual que varía entre los 800 y 1000 mm. Se caracteriza por vegetación de 3-6 m de altura. La composición florística y la densidad del arbolado varían según el manejo de la vegetación. Entre las especies dominantes se encuentran *Zanthoxylum fagara*, *Helietta parvifolia*, *Cordia boissieri*, *Neopringlea integrifolia*, *Acacia amentacea*, *Forestiera angustifolia*, *Diospyros texana*, *Celtis pallida*, *Bumelia* sp., *Pithecellobium pallens*, *Rhus virens*, *Randia laetevirens*, *Pithecellobium flexicaule*, *Ehretia anacua*. El bosque esclerófilo de encinos se localiza en las laderas Este de la Sierra Madre Oriental y se encuentra adyacente al bosque de pinos-encinos y al matorral alto sub inermis, se caracteriza por la presencia de árboles medianos de 8 a 15 m de altura. Las principales especies que existen en este tipo de vegetación son las siguientes; *Quercus fusiformes*, *Q. laceyi*, *Q. canbyi*, *Q. glaucoides*, *Juglans* spp., *Hicoria pecan*, *Ugnadia speciosa*, *Arbutus arizonica*. Las gramíneas más abundantes son: *Setaria texana*, *Bouteloua curtipendula*, *B. hirsuta* y distintas especies de *Brumus* spp. Los bosques de encino-pinos se distribuyen en las partes altas de la Sierra Oriental adyacentes al bosque de encino. Está formado por árboles de 10 a 18 m de altura dominando especies de los géneros *Quercus* y *Pinus*. Las especies que dominan son: *Quercus rysophylla*, *Q. polymorpha*, *Q. canbyi*, *Q. mexicana*, *Q. cupreata* y diferentes especies de pinos como *Pinus pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. teocote*, *Arbutus xalapensis* y *Ugnadia spaciola*. Las gramíneas más importantes son *Bouteloua curtipendula*, *Setaria texana*, *Poa mulleri*. Los chaparrales se distribuyen entre la vegetación semi árida y los bosques de pino-encino que crecen en las localidades de altura. El

estrato arbustivo es dominante y alcanza una altura promedio de 0.6 m. En las inmediaciones de esta comunidad se pueden presentar pequeños rodales o árboles aislados de los géneros *Pinus* y *Quercus*. Su distribución altitudinal esta entre los 1300 y 3200 msnm, sobre los suelos superficiales, bajo una precipitación media anual de que varía entre los 800 y 1000 mm. Su composición florística la representan primordialmente especies de Encino (*Quercus spp*) encontrando se también, *Cercocarpus mojadensis*, *Cowania plicata*, *Arctostaphilos pungens*, *Ameliancher denticulata*, *Lindleyella mespiloides*, *Dalea spp*. Otras comunidades presentes son el matorral desértico rosetófilo caracterizado por *Agave lecheguilla*, *Agave sp.*, *Dasyilirion longissimum*, entre otras (Rzedowski, 1978).

Los Ríos estudiados fueron a) Río Pablillo, b) Río Camacho, c) Río Hualahuises y d) Río Limón.

Río Pablillo

El Río Pablillo que es el origen del Río Conchos a San Fernando, nace unos 60 Km. al suroeste de la población de Linares a elevaciones de 3000 msnm, en las proximidades de los cerros Infiernillo y Pablillo. Su dirección es en general hacia el Noreste y pasa por linares, donde su elevación es ya de unos 400 msnm. Después de haber descendido con una pendiente pronunciada y continúa por unos 30Km, hasta recibir la confluencia izquierda del río Potosí de aquí siguen, ya unidos por unos 7Km. Hasta la confluencia derecha del arroyo de los anegados o concho para continuar, con el nombre de Río Concho o San Fernando, hasta su desembocadura al Golfo de México a través de la albufera Laguna Madre.

Río Camacho

Esta corriente nace a unos 40 Km al oeste-suroeste de la población de Linares, a elevaciones de unos 2000 msnm, y corre con dirección Noreste hasta la población de Hualahuises. De aquí continúa hacia el Poniente pasando por

Camacho, de donde toma su nombre, confluyendo el Río Pablillo por la parte izquierda, cerca del ejido – Hacienda de Guadalupe.

Río Hualahuises

El Río Hualahauises nace unos 30km al Poniente de Linares, a elevaciones del orden de 2000 msnm. Su dirección general es hacia el Oriente y se une al Río Camacho un poco abajo de la población de Camacho. Pasa su curso por Hualahuises pero no recibe afluentes dignos de mencionarse. Corta a la carretera que va de Hualahuises a Montemorelos en el poblado denominado Hualahuises, de cual toma su nombre.

Metodología

Se seleccionaron 11 sitios de muestreo en los tres Ríos de la subcuenca del Río Limón, que son los ríos Pablillo, Hualahuises y Camacho. El primer sitio se ubica en el río Hualahuises al pasar por el asentamiento urbano y cuatro de estos sitios de muestreo se ubicaron uno en cada cauce aguas arriba de la ciudad de Linares, después otros tres sitios de muestreo en aguas abajo o saliendo fuera de la ciudad, y otro sitio de muestreo donde se juntan los tres ríos y por último dos sitios finales al llegar a la presa Cerro Prieto (Figura 1.1).

Las muestras para los análisis químicos y bacteriológicos se tomaron una vez al mes durante 7 meses iniciando en el mes de Mayo y finalizando en el mes de Octubre del 2004 y para las mediciones hidrodinámicas se hicieron cada quince días de cada mes correspondiente a las fechas de muestreo.

1.4.2. Muestreo

Se utilizó un método de muestreo simple, tomando la muestra de súbito del centro de la corriente, a una profundidad de entre 0 y 30 cm. Se usaron recipientes de diferentes características para almacenar la muestra, dependiendo de los parámetros a evaluar. En la toma de muestras para los análisis de constituyentes químicos se usó un envase de plástico de 1 lt. Para

las determinaciones bacteriológicas (coliformes fecales y totales), se usaron frascos de vidrio de 250 ml. De boca ancha. Para los análisis químicos se llevarán a cabo en el laboratorio de calidad de agua de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y para los bacteriológicos se realizaron en el laboratorio de química de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

1.4.3. Parámetros evaluados

Los parámetros evaluados se dividieron en hidrodinámicos, químicos, bacteriológicos. Dentro de los constituyentes químicos se evaluaron pH, nitratos, sulfatos, calcio, magnesio, sodio, carbonatos, bicarbonatos y cloruros. De los parámetros bacteriológicos se evaluaron coliformes fecales y coliformes totales. De los parámetros hidrodinámicos se evaluaron: la profundidad, la amplitud, la velocidad y con estos determinar el gasto.

La medición del gasto se realizó empleando el método de sección-velocidad que es utilizado por la comisión Nacional del Agua. Para el efecto se utilizó un molinete marca Rossbach 73343, el cual consta de una rueda dotada de aletas en forma de copos montados en un eje, el cual gira sobre este por acción del movimiento del agua, ensamblado en cuatro varillas de 50 cm cada una segmentada a 2 cm. Se midió el ancho del cauce seccionándolo a cada metro y metiendo el molinete en cada sección en lapsos de tiempo de 1 min. Calculando el número de revoluciones para así sucesivamente estimar la velocidad (m seg^{-1}), utilizando la ecuación (CNA, 1980)

$$Q = VA; V = mN + b.$$

Donde: V = Velocidad (m seg^{-1}), N = revoluciones por segundo, m y b = Variables de calibración, A = área seccional del cauce, Q = gasto ($\text{m}^3 \text{seg}^{-1}$).

Las técnicas estandarizadas utilizadas para la medición de cada uno de los constituyentes químicos y bacteriológicos fueron los siguientes. Para la CE se tomo mediante un conductivímetro y el pH fue leído en un potenciómetro. Por

otra parte el Mg^{2+} , Ca^{2+} , CO_3^{2-} HCO_3^- Cl^- , se evaluaron mediante técnicas de titulación y para el Na^+ y SO_4 , se analizaron mediante el método gravimétrico. Para la determinación de coliformes fecales se utilizó la técnica de caldo lactosado al 1% y agar nutritivo con tres repeticiones, en tres diferentes cantidades de agua muestreada a 1 ml, 10 ml y 20 ml. Utilizando tubos de ensaye de 18x150ml y cajas petri para la inoculación. Para las coliformes fecales se determinaron en base a caldo lactosado al 2% con tres repeticiones y diferentes cantidades de agua, 1 ml, 10 ml y 20 ml.

1.4.4 Normas utilizadas

Con el fin de determinar si el caudal reúne los criterios de calidad para diferentes usos, se procedió a comparar los resultados de los análisis de laboratorio con una serie de normas o estándares (NOM-127-SSA1-1994). Se utilizaron también los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua de la Comisión Nacional del Agua (CE-CCA-01/89) aprobados en diciembre de 1989. Estos criterios contienen normas para fuentes de abastecimiento, para uso agrícola, pecuario, recreativos con contacto primario, protección de la biota dulce y de la vida marina y para acuacultura.

1.4.5. Análisis estadístico

Los datos de los análisis de laboratorio fueron sometidos a un análisis de varianza para determinar la probabilidad de aceptación o rechazo de las hipótesis planteadas en las fuentes de variación (Fechas o tiempo, ríos y posición). Para determinar similitud estadística entre ríos, constituyentes químicos y bacteriológicos se aplicó el análisis multivariado de correspondencia canónica sin tendencia (DCCA).

1.5. Resultados y Discusión

Los valores promedio de los resultados de los análisis químicos, bacteriológicos e hidrodinámicos se presentan en el Cuadro 1.1. Se observa la presencia de coliformes totales y fecales en todos los meses. Aunque las menores concentraciones se observaron en el mes de Junio, todas las muestras rebasaron la norma NOM-127-SSA 1994 para el consumo humano. Los constituyentes químicos mostraron diferencias entre meses, ríos y posiciones pero ninguno sobrepasó la norma de calidad para consumo humano. Flores y Navar (2002) encontraron también altas concentraciones de coliformes totales y fecales en el Río San Juan del nordeste de México.

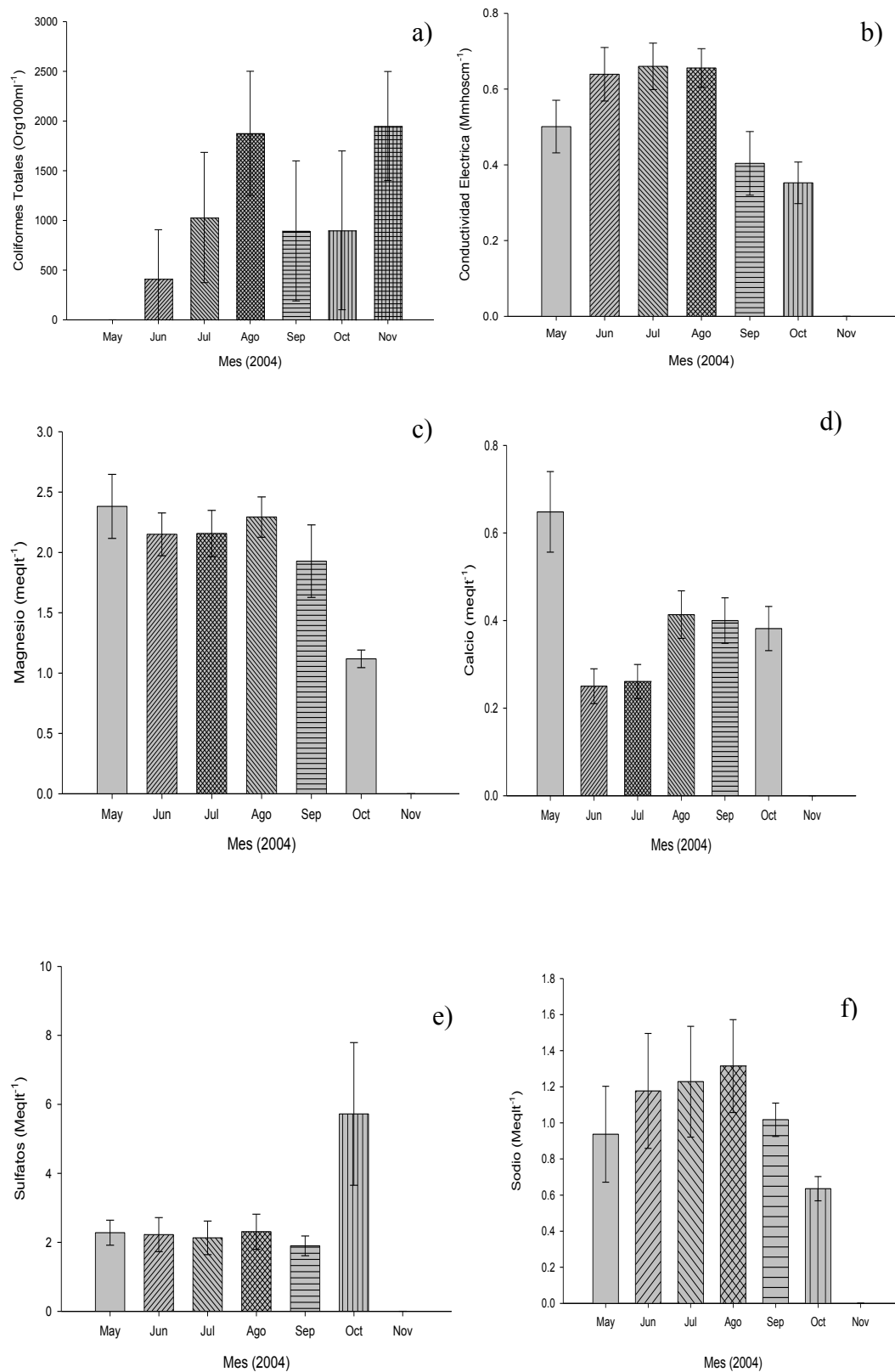
Tabla 1.1. Valores promedio de los análisis hidrodinámicos, químicos, bacteriológicos y sus poblaciones de cada sitio de muestreo en la Subcuenca del Río Limón.

Mes	CT	CF	Nit	pH	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Q
	Org100ml ⁻¹		Mglt ⁻¹						MeqLt ⁻¹				m ³ s ⁻¹
May	NM	NM	NM	7.35	0.50	0.65	2.38	0.94	1.05	2.65	1.15	2.28	0.38
Jun	412.73	65.03	0.00	7.86	0.64	0.25	2.15	1.18	1.15	2.47	1.39	2.22	0.26
Jul	1029.18	507.55	6.09	7.56	0.66	0.26	2.16	1.23	1.17	2.29	1.30	2.13	0.25
Ago	1876.64	437.27	6.36	7.70	0.66	0.41	2.29	1.31	1.11	2.44	0.71	2.31	0.50
Sep	894.45	1010.36	5.18	7.44	0.40	0.40	1.93	1.02	0.71	2.09	0.52	1.90	0.46
Oct	900.18	1073.45	5.00	7.92	0.35	0.38	1.12	0.64	0.56	1.18	0.46	5.72	0.91
Nov	1950.27	522.00	5.00	0.00	NM	NM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48
Ríos													
R. C	1353.92	683.86	5.40	7.67	0.52	0.39	1.95	1.09	0.95	2.16	0.91	2.48	0.53
R. H	681.83	752.36	6.00	7.57	0.48	0.39	1.86	1.07	0.98	2.09	0.97	2.14	0.27
R. P	1154.17	340.28	5.47	7.63	0.60	0.41	2.21	0.97	0.97	2.31	0.92	3.74	0.46
STM													
A. ar	1167.20	547.67	5.28	7.64	0.52	0.37	1.97	0.93	1.00	2.13	0.79	2.71	0.39
A. ab	1185.61	648.40	5.73	7.64	0.54	0.41	2.03	1.16	0.93	2.23	1.03	2.81	0.52

R.C = Río Camacho, R.H. = río Hualahises, R.P. = Río Pablillo, STM = Sitios de Muestreo, A. ar = Aguas arriba, A. ab = Aguas abajo, CT = Coliformes Totales, CF = Coliformes fecales, Nit = Nitratos, pH = pH, CEX10 = Conductividad Eléctrica, Ca²⁺ = Calcio, Mg²⁺ = Magnesio, Na⁺ = Sodio, Co²⁻ = Carbonatos, HCO₃⁻ = Bicarbonatos, Cl⁻ = Cloruros, SO₄²⁻ = Sulfatos, Q(m³s⁻¹) = Gasto. NM = No Medido.

Los constituyentes químicos, bacteriológicos e hidrodinámicos que variaron en tiempo y que fueron estadísticamente diferentes fueron los coliformes totales, conductividad

eléctrica, magnesio, calcio, sodio, sulfatos, pH, cloruros, carbonatos y bicarbonatos (Figura 1.2).



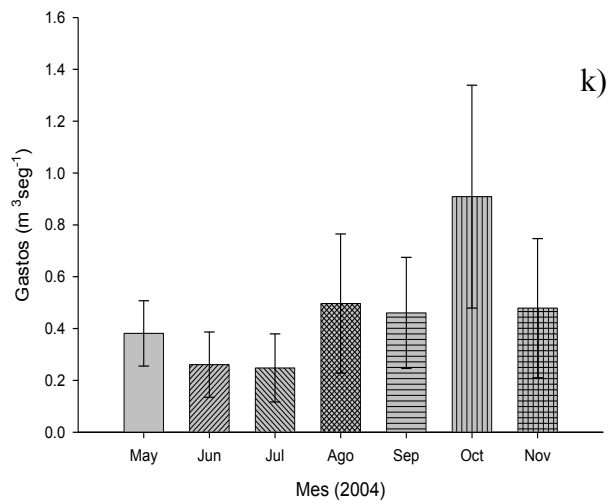
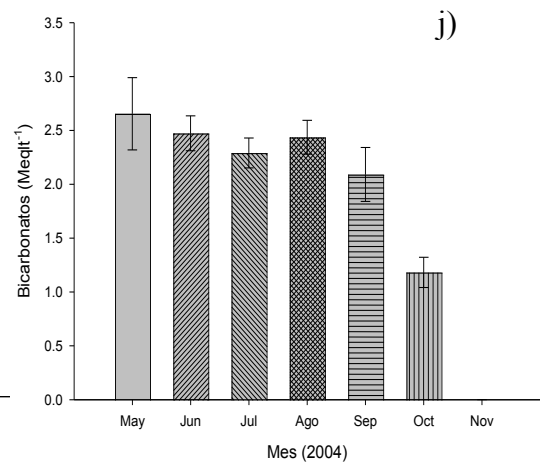
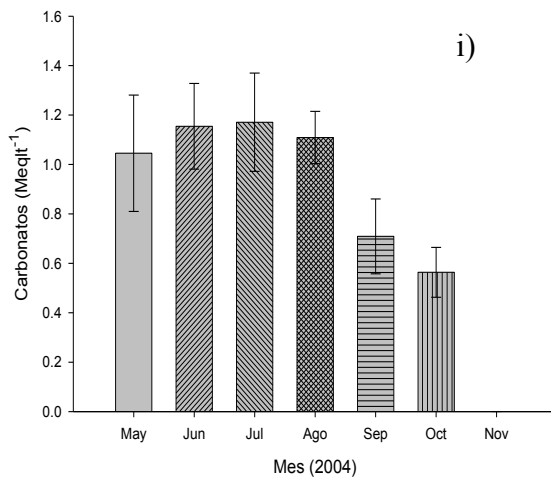
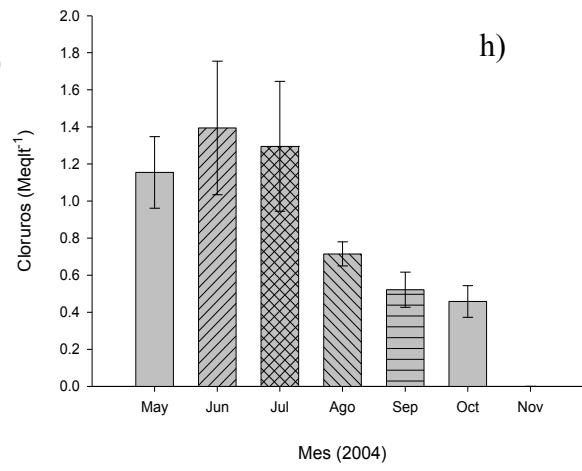
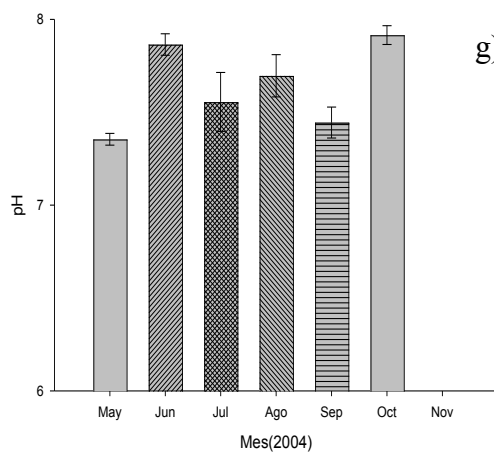


Figura 1.2. Promedios mensuales e intervalos de confianza ($\alpha .5$) de coliformes totales, b) conductividad eléctrica, c) magnesio, d) calcio, e) sulfatos, f) sodio, g) pH, h) cloruros, i) carbonatos, j) bicarbonatos y k) gasto de los ríos Pablillo, Camacho y Hualahuises de la Subcuenca del Río Limón.

En la Figura 1.2. Se observa que los parámetros bacteriológicos e hidrodinámicos y constituyentes químicos presentan tendencias diferentes. Por ejemplo, las coliformes totales y los sulfatos tienden a aumentar en tiempo sus concentraciones y muestran diferencias estadísticamente significativas ($P=0.0029$ y $P=0.0001$, respectivamente). El magnesio, los cloruros, el calcio y los bicarbonatos, por otra parte, tienden a disminuir las concentraciones en tiempo ($P=0.0001$, $P=0.0001$, $P=0.0001$, $P=0.0001$, respectivamente). La conductividad eléctrica, el sodio y los carbonatos presentan una tendencia casi cuadrática, con una subida hasta alcanzar un máximo para posteriormente reducir las concentraciones en tiempo ($P=0.0001$, $P=0.0003$, $P=0.0001$, respectivamente). El gasto tiende a aumentar en tiempo, explicado por la presencia de las lluvias de final del verano y la reducción de la evapotranspiración.

Los coliformes totales y los sulfatos aumentan paralelamente con el gasto mostrando posiblemente un efecto de lavado de estos elementos de la periferia de los cauces. Es decir, el gasto es el limitante en el aumento de las concentraciones de estos elementos. El Magnesio, Calcio, Bicarbonatos y Cloruros disminuyeron en tiempo mientras que el gasto mostró la tendencia a aumentar. Para estos elementos, su concentración en las aguas es la limitante y parece estar explicado parcialmente por el posible aumento en la escorrentía directa en relación con el flujo base, el cual posee la firma química del material geológico.

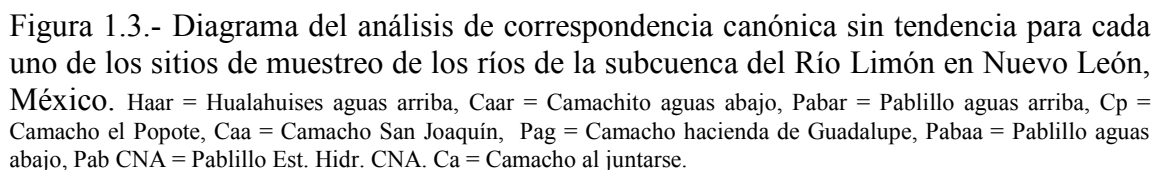
El Sodio, Conductividad Eléctrica y Carbonatos mostraron tendencias cuadráticas con un máximo en los primeros meses de medición mientras que el gasto aumentó casi linealmente en tiempo. Es decir, en los primeros meses se

muestra un efecto de lavado para posteriormente convertirse el gasto en el factor limitante en el aumento de las concentraciones de estos elementos.

Los constituyentes químicos conductividad eléctrica ($P=0.0019$), magnesio ($P=0.0020$) y sulfatos ($P=0.0005$) fueron estadísticamente diferentes entre ríos. En general, las aguas del Río Pablillos poseen mayores concentraciones de sales (Conductividad Eléctrica, Magnesio y Sodio) que las aguas de los Ríos Camacho y Hualahuises. Las diferencias entre ríos podrían estar explicadas por las características geológicas de los acuíferos de donde provienen las aguas subterráneas. La geología del área del río Pablillos se caracteriza por rocas de la Formación Méndez de edad cretácica, conglomerados terciarios y sedimentos aluviales del cuaternario pero atraviesa una zona de rocas sedimentarias y vulcanosedimentarias del plioceno. Los Ríos Hualahuises y Camacho se caracterizan por pasar rocas sedimentarias y vulcanosedimentarias del cretácico superior.

Los constituyentes químicos sodio, cloruros y calcio fueron estadísticamente diferentes aguas arriba y aguas debajo de la ciudad de Linares. El sodio disminuye ($P=0.015$), los cloruros ($P=0.0017$) y el calcio ($P=0.0317$) aumentan aguas debajo de la mancha urbana. Porque el gasto aumenta, entonces las sales disminuyen por el efecto de dilución mientras que el cloro y el calcio aumentan por el efecto de descargas con mayores concentraciones. Las descargas municipales ricas en cloro, proveniente de productos de limpieza doméstico y comercial podrían estar contribuyendo al aumento de las concentraciones de cloro en el caudal. La industrialización de productos con altas concentraciones de calcio, la molienda, extracción y utilización de materiales pétreos con molinos y las descargas residuales hacia el Río Pablillo y Camacho pueden contribuir a elevar las concentraciones de calcio en los caudales.

En la Figura 1.3. Se presentan los resultados del análisis multivariado de correspondencia canónica sin tendencia.



19

metropolitana de Monterrey (Haar, Caar, Caaa, Pabar). En la parte inferior, también en forma diagonal se observan las estaciones hidrométricas con los altos niveles de concentración de constituyentes químicos y parámetros bacteriológicos, ubicadas aguas debajo del área metropolitana de Linares (Cp, Caa, Cag, Pbaa). Los ríos también muestran tendencias claras aunque agrupamientos someros en la contaminación. El Río Camacho se asocia con las estaciones hidrométricas localizadas en el Río Camacho y con la estación del río Pabillos ubicada aguas debajo de Linares. El Río Hualahuises aguas arriba, por el contrario se aísla totalmente de estos ríos en la parte superior derecha de la Gráfica. Las aguas en esta sección se caracterizan por que aun se nota la presencia de las aguas del acuífero somero contribuyendo a la descarga del agua. La estación Hualahuises aguas antes de entrar a la mancha principal de Linares se integran a la tendencia general de las estaciones de monitoreo, indicando la similitud en las fuentes de contaminación antropogénica (Figura 1.3).

1.6. Conclusiones

Este estudio enfatiza la contaminación de las aguas de los Ríos Camacho, Hualahuises y Pabillo por fuentes antropogénicas que incrementan las concentraciones de bacterias totales y fecales y que sobrepasan la norma oficial mexicana. También enfatiza la presencia de aguas subterráneas con diferentes estratos geológicos contribuyendo a distinguir la calidad del agua de los Ríos Camacho y Hualahuises en contraste con las aguas del Río Pabillos. Se recomienda estudiar más a fondo la problemática de la calidad del agua por fuentes antropogénicas para desarrollar el mejor plan de manejo de las aguas de los Ríos de Linares, Nuevo León, México.

1.7. Bibliografía

- Andreoli, C. V. 1993. Influencia de la agricultura en la calidad del agua. Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Anales de la consulta de expertos organizada por la FAO. Informes sobre temas hídricos No. 1. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, pp: 59-77.
- Aparicio, M.F. 1989. Fundamentos de Hidrología de superficies. Editorial Limusa. México.
- CE-CCA-01/89: Criterios que contienen normas para fuentes de abastecimiento, para uso agrícola, pecuario, recreativos con contacto primario, protección de la biota dulce y de la vida marina y para acuacultura. México.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 1996. Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del agua, CE-CCA-001/89. Gaceta Ecológica, Vol. 2, No. 6, enero de 1990. México, D.F.
- Comisión Nacional del Agua. 1996. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSAI-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial, jueves 18 de enero de 1996.
- Chanlett, E. T. 1973. Environmental Protection. McGraw-Hill.
- De León, G.H. 1991. Aspectos Hidrogeológicos generales de la Cuenca del Río Pablillo, Linares, N.L., México. En: Memoria del primer Simposio Regional "avances, perspectivas de la investigación de recursos abióticos del NE de México". U.A. de Tamaulipas; Cd. Victoria, Tamp., México.

- Flores., L. J. y J. Návar (2002). An Assessment of Stream water Quality of the Rio San Juan, Nuevo Leon, Mexico, 1995-1996.Reprinted from the Journal of Environmental Quality. 31,(4): 1256 -1265.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen (para adaptarlo a las condiciones de la Republica Mexicana). 4ª. Edición. U.N.A.M., México, D.F.
- Guerra, P. S. 2000. Evaluación de la vegetación riparia, insectos acuáticos y peces influenciados por las variaciones en la calidad y cantidad de los caudales de la cuenca del Río San Juan, Nuevo León México. Tesis de Maestria
- INEGI (2001): Información estadística de los estados en la Republica Mexicana. www.inegi.gob.mx
- Lizarraga L. G. y Navar J. 2005. Análisis espacio-temporal de la calidad del agua en el acuífero de Linares, N.L., México enviado a Investigación Geográficas.
- Návar, J., T. Cavazos y P. A. Domínguez. 1994. Los balances hidrológicos mensuales con tres probabilidades de precipitación en el estado de Nuevo León. En: C. Polas., J. A. Ramírez F., M.M. Rangel R. & I. Navarro-L. (Eds.) Actas Facultad Ciencias Tierra UANL Linares, 8:
- Návar J, y T. J. Synnott. 2000. Surface runoff, soil erosion and Landuse in Northeastern, México. Facultad de Ciencias Forestales-UANL:18 (3) 247-253. Terra. En prensa
- NOM-127-SSA1-1994: Norma que establece los límites máximos permisibles para la calidad del agua para uso potable. Secretaria de Salubridad y Asistencia, México.
- Padilla y Sánchez R.J. (1978): Bosquejo geológico-estructural de la Sierra Madre Oriental en el área Linares-Galeana-San Roberto, Estado de Nuevo León Revista del Instituto de geología, U.N.A.M., Vol. 2, no. 1pp. 45-54

Pissani, J.F. 1992. Estudio y Diagnóstico de las cuencas Galeana y Mimbres. Dpto. de Ingeniería Agrícola, Fac. De Agronomía, UANL. SARH, Delegación estatal en Nuevo León, Marín Nuevo León México. 157 pp.

Reyes, F. G. 2000 Evaluación de la desertificación en la subcuenca "Río Limón" en el Estado de Nuevo León. Tesis de Maestría. Llares, Nuevo León, México. Facultad de Ciencias Forestales UANL.

Rangel-Rodríguez (1989): hidrogeología de la Ciudad Universitaria de la Universidad Autónoma

Rojas-Ruiz G y Méndez-Delgado S. (1986): Consideraciones sobre el comportamiento de pozos hidrológicos en terrenos impermeables en la Planicie frente a la Sierra Madre Oriental, Nuevo León, Nuevo León, México. Actas Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL, 1: 88-101.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. de. Limusa. México.

Secretaria de programación y presupuesto (SPP) 1986. Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León. México.

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE LOS PARAMETROS HIDRODINÁMICOS DE LOS CAUDALES, DE LA POBLACIÓN Y LA AGRICULTURA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO LIMÓN EN NUEVO LEÓN

2.1. Resumen

El manejo sustentable de los recursos hídricos es uno de los retos ambientales más importantes que los seres humanos tendrán que enfrentar en este nuevo siglo. En el área de Linares, los cambios de uso de suelo, el crecimiento urbano e industrial, parecen estar modificando las características hidrodinámicas de los Ríos Pablillo, Camacho y Limón. A pesar de esta problemática, se han realizado pocos estudios consistentes para entender la dinámica de los caudales su cantidad y calidad del agua de los ríos de Nuevo León. Los objetivos de este estudio fueron: a) analizar las tendencias o patrones de los flujos base, directo y total, b) determinar la posible relación existente entre los flujos y el crecimiento de la población y la agricultura de riego, c) determinar los cambios de uso del suelo y su relación con los caudales y d) recomendar las prácticas de manejo adecuadas para el manejo sustentable de recursos hidrológicos de la subcuenca del Río Limón. Los resultados mostraron que los flujos base están disminuyendo significativamente a tasas variables en tiempo. La tasa de deforestación se aproxima al 1% anual pero es variable entre ecosistemas. La agricultura, la población y la industria parecen estar contribuyendo a la reducción en el caudal base mientras que los cambios de uso del suelo y la urbanización al incremento en el flujo directo. Se recomienda eficientizar el uso del agua en la agricultura, la población y la industria y hacer uso de los caudales directos excedentes.

Palabras Clave: Caudales Base y Directo, Población, Deforestación, Uso Sustentable.

2.2. Abstract

The management of water resources is one of the most important environmental challenges that society is currently facing. In the area of Linares, land use changes, urban, and industrial growth, appear to be modifying the hydrodynamic characteristics of the rivers Pablillo, Camacho and Limon. In spite of this problematic one, few consistent studies have been made to understand dynamics of discharge its quantity and quality of the stream flows of the rivers of Nuevo León. The objectives of this study were: a) to analyze tendencies and patterns of base flow, quick flow, and total discharge, b) to determine the potential relationship between flows and population and agriculture growth, c) to determine changes in land use and its relationship to flows, and d) to recommend sustainable management practices of stream water resources. Results showed that base flow is consistently diminishing at differential rates in time. The annual deforestation rate approximates to 1% but it is variable between ecosystems. Agriculture, population and industry seems to be contributing to the reduction in base flow while land use changes and urbanization appear to be increasing quick flow. The recommendation is to be more efficient when using stream water for agriculture and domestic supply and make use of the additional quick flow produced by land use changes and urbanization.

Key words: Base flow, quick flow, Population, Deforestation, Sustainable use.

2.3. Introducción

Los recursos hídricos han sufrido considerables alteraciones producto de la intervención antrópica en el ambiente. La sobre explotación de acuíferos, la toma directa de agua de los ríos para uso agrícola, doméstico e industrial y la construcción de presas contribuyen a cambios significativos en la descarga de los flujos base y directo y la frecuencia de la presencia de eventos importantes (Postel, 2000; Navar, 2004). El cambio climático, la degradación del suelo, la reducción y el cambio en la cobertura vegetal son también responsables de los cambios en los regímenes hidrológicos de los ríos (IPCC, 2001).

El sector agrícola es el mayor consumidor de agua con el 80% porque la superficie irrigada en el mundo ha tenido que quintuplicarse y porque cuenta con un sistema de riego deficiente (Doorembos y Kasam, 1979; Postel, 2000). El sector doméstico e industrial utilizan el 20% restante del agua dulce que se consume mundialmente. Se proyecta que en el mediano plazo, las superficies agrícolas reducirán sus volúmenes y posiblemente sus superficies a costa del aumento en el consumo de agua por la industria y el sector público (Postel, 2000; Schamndt et al., 2000; Navar et al., 2001, 2004). Por ejemplo, en el Municipio de Linares, Nuevo León, la población se ha incrementado de 33,012 habitantes en 1980 a 69,205 habitantes en el 2000 (INEGI, 2001), doblando la cantidad de agua requerida para satisfacer el uso doméstico.

La deforestación y los cambios de uso del suelo juegan también un papel importante en el destino de componentes del ciclo hidrológico. Cambios en la cobertura vegetal son responsables de cambios en la magnitud del flujo base y directo (Swank et al., 1990). Estadísticas para la Planicie Costera del Golfo Norte y en específico para la región de Linares indican una tasa de cambio de uso del suelo de aproximadamente el 2% (Treviño et al., 1996; Navar et al., 2005).

La conjunción de los factores que controlan el flujo base y directo y su posible modelaje son necesarios para el manejo sustentable de los recursos hidrológicos de las cuencas. Los objetivos específicos de este trabajo de investigación fueron: a) determinar los posibles cambios temporales que ha existido sobre el flujo base y directo en cuatro estaciones hidrométricas de la cuenca del Río Limón, b) analizar la relación que existe entre el flujo directo y base con los cambios de uso del suelo en tiempo y el cambio en la densidad de población y c) modelar los cambios en los flujo base y directo en función de los cambios de uso del suelo y de la densidad de población e industria de la cuenca del Río Limón del nordeste de México.

2.4. Materiales y Métodos

2.4.1. Localización del área de estudio

La Subcuenca del "Río Limón" está situada en la parte sur oeste de la Cuenca del Río San Fernando, en la Región Hidrológica No. 25 "San Fernando-Soto La Marina", en el Estado de Nuevo León. Se ubica entre los meridianos 99° 15' y 100° 00' Longitud Oeste y los paralelos 25°00' y 24° 23' Latitud Norte y comprende una superficie de 1744.41 Km² (Figura 2.1). Dentro de la subcuenca del Río Limón se encuentran ubicados los municipios de Iturbide, Hualahuises y Linares.

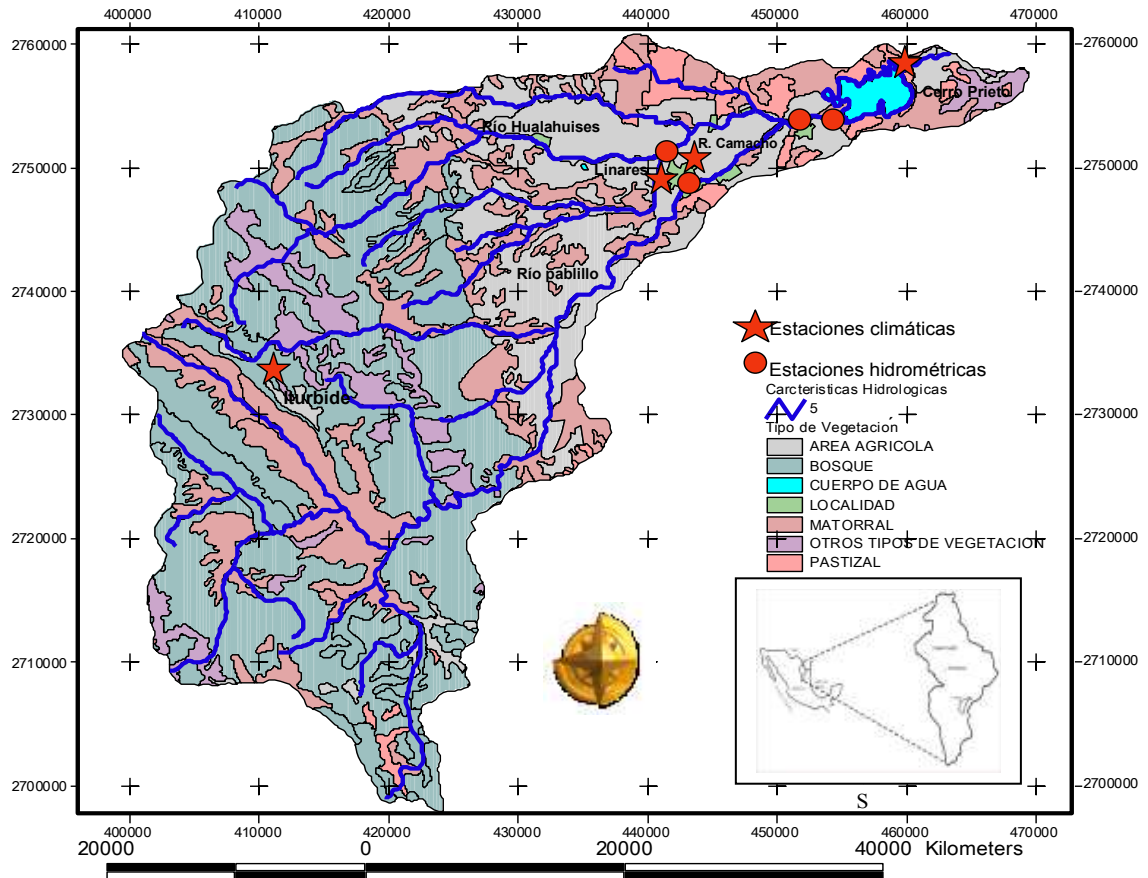


Figura 2.1. Subcuenca del Río Limón.

Fisiografía

El área de estudio queda comprendida dentro de dos subprovincias fisiográficas: La Subprovincia Sierra Alta, perteneciente a la Provincia de la Sierra Madre Oriental y la Subprovincia de Llanuras y Lomeríos que corresponde a la Planicie Costera del Golfo de México (SPP, 1986).

Geología

Las rocas que afloran en el área de estudio, corresponden a sedimentarios marinos del Jurásico Superior y Cretácico, cubiertos por depósitos continentales del Terciario Inferior y Cuaternario. Las primeras constituyen el macizo montañoso localizado al poniente de la zona de estudio; estas rocas afloran también en lo que se considera la Planicie Costera del Golfo, delineada por

lomeríos bajos. Los segundos se encuentran cubriendo parcialmente a las anteriores, en las partes bajas formando mesetas (De Lean *et al.*, 1991).

Hidrología

Hidrológicamente la subcuenca Río Limón pertenece a la región RH-25 denominada San Fernando-Soto La Marina, de la vertiente del Golfo de México. Está limitada al norte con la subcuenca del Río Potosí, al este con la subcuenca del Río Conchas, ambas pertenecientes a la cuenca del Río San Fernando, al sur con la subcuenca del Río Soto La Marina y al oeste con la región del Salado (Pissani, 1992).

El drenaje se presenta en dos patrones diferentes; en la Sierra Madre Oriental es del tipo dendrítico y angular y en la región plana del valle de Linares es dendrítico subparalelo. El tipo de las corrientes se consideran como perennes e intermitentes. Su orden es de tipo 4, según el esquema "Strahler" (Aparicio, 1989). La densidad de drenaje se considera regular según la anterior clasificación.

El principal escurrimiento de la cuenca es el Río Pablillo, que nace a unos 60 Km al Sur Oeste de Linares en la cercanía de los cerros Pablillo e Infiernillo (3167 msnm), en la Sierra Madre Oriental. Este río corre con dirección SW-NE pasando por Linares, donde se le unen las aguas de los Ríos Hualahuises y Camachito, éstas últimas en forma combinada dan origen a un río de corta trayectoria llamado Camacho. Mismo que vierte sus aguas por la margen izquierda del río Pablillo a sólo 10Km al Nor Este de Linares ya para desembocar en la presa "Cerro Prieto" (INEGI, 2000).

Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988), la zona está representada por 2 grupos climáticos, mismos que se dividen en subgrupos, tipos y subtipos

C Es el grupo de climas templados húmedos:

Cx' Templado sub húmedo con lluvias todo el año, si su máximo de precipitación está en invierno, no llega a tres veces la del mes más seco, y si está en el verano no llega a 10 veces la del mes más seco.

C(wo) Es el más seco de los templados sub húmedos con lluvias en verano, con un cociente precipitación/temperatura < 43.2

C(w₁) Intermedio en cuanto a humedad entre el C(wo) y el C(W₂), con lluvias de verano, y un cociente de precipitación/temperatura entre 43.2 y 55.0.

A) C Subgrupo semicálido. Los climas semicálidos subhúmedos con lluvias en verano tienen un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2. Sus literales son: (A)C(wo), (A)C(W₂)

B Es el grupo de climas secos

BS₁ Tipo seco o "estepario"; es el menos seco de los BS₁, con un cociente precipitación/temperatura 22.9.

BS₁hw. Semicálido con invierno fresco, temperatura media anual entre 18 y 22°C y la del mes más frío $< 18^{\circ}\text{C}$. Porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10% del anual total.

BS₁(h')hw. Cálido, con temperatura media anual $> 22^{\circ}\text{C}$, la del mes más frío $< 18^{\circ}\text{C}$. El % de lluvia invernal entre 5 y 10% del anual total.

Suelos

De acuerdo a la carta edafológica de la SPP (1986) los tipos de suelos en el área de estudio corresponden a los siguientes:

Cambisol: Presentan un horizonte "A" pélico y un "B" cámbico, con una saturación de bases del 50% o mayor cuando menos en algún sub horizonte; carecen de carbonatos en el horizonte "B" (los carbonatos pueden aparecer en el horizonte C).

Litosol: Suelos que se caracterizan por tener una profundidad menor de 10 cm. hasta la roca, tepetate o caliche. Generalmente se localiza en las sierras, en las laderas, barrancas, lomeríos y en algunos terrenos planos. Debido a las condiciones geomorfológicas en que se encuentra esta unidad, es muy

susceptible a erosionarse dependiendo de la cobertura vegetal presente.

Luvisol: Se caracterizan por tener una semejanza con el Acrisol, con un enriquecimiento de arcilla en el subsuelo, pero son más fértiles y menos ácidos que éste.

Regosol: Son suelos que se pueden encontrar muchas veces acompañados de Litosol y de roca o tepetate que aflora; proviene de materiales inconsolidados, excepto los depósitos aluviales recientes, o de arenas ferralíticas, no tienen horizontes de diagnóstico, excepto tal vez de horizonte "A" pálido. Suelos someros y pedregosos.

Rendzina: Se caracterizan por presentar un horizonte "A" melánico, no mayor de 50 cm de espesor, y contener o encontrarse inmediatamente arriba de un material calcáreo que tiene más del 40% de carbonato de calcio equivalente, y no se presenta dentro de los primeros 25 cm de la superficie.

Vertisol: Esta unidad se caracteriza por las grietas anchas y profundas de 1 cm de ancho con una profundidad de 50 cm en la época de sequía, a menos que estén bajo riego. Abajo de los 20 cm (arados) tienen un 30% o más de arcilla en todos los horizontes, por lo menos dentro de los primeros 50 cm de la superficie. Su utilización agrícola es muy extensa, variada y productiva, son suelos casi siempre fértiles, difícil es en su manejo ya que la dureza dificulta la labranza y con frecuencia manifiestan problemas de inundación.

Xerosol: Se caracterizan por tener un horizonte "A" pálido bien desarrollado, presentan una capa superficial de color claro muy pobre de humus. Debajo de ésta puede haber un sub suelo rico en arcillas.

Vegetación

Dado que en Nuevo León prevalecen condiciones de aridez, el tipo de vegetación que predomina en la Subprovincia de Llanuras y Lomeríos es el Matorral Tamaulipeco.

En términos generales, se puede decir que el matorral tamaulipeco es el extremo leñoso de las sabanas que cubren las regiones semiáridas subtropicales a nivel mundial (Peñaloza y Reid, 1989). La vegetación nativa de

la provincia biótica tamaulipeca son matorrales diversos, espinosos y frecuentemente espesos (Heiseke, 1986). Zacates y hierbas por lo regular, son conspicuos en el estrato inferior, y son frecuentes las suculentas en la vegetación más abierta. Se encuentran comúnmente en la región cerca de 80 especies de árboles y arbustos, que varían entre 1 a 14 mts de altura. La vegetación es dominada por las leguminosas, que constituyen la tercera parte de las especies arbustivas y arbóreas, y las cuales contribuyen con la mitad de la cobertura que ejercen las plantas leñosas (Reid *et al.*, 1987).

Reid *et al.*, (1988) realizaron una clasificación y ordenación de la vegetación regional, revelando que el clima, substrato y topografía son variantes ambientales que determinan la diversidad florística de la vegetación. Permiten caracterizar a la vegetación regional en cuatro diferentes tipos de matorral.

Matorrales de sitios calichosos secos. En estos sitios se desarrolla una vegetación empobrecida, en su mayor parte inerme, que es dominada por *Acacia rigidula*, *Cordia boissieri* y *Helietta parvifolia* en el estrato superior, y *Karwinskia humboldtiana* y *Chamaecrista greggii* en el estrato inferior. La vegetación varía de matorral bajo y mediano abierto a matorral alto abierto, muchas veces interrumpida por manchones de vegetación arbustiva enana en sitios más o menos planos, en la parte superior de lomas. Las partes abiertas están dominadas por arbustos bajos, menores de 1 m de altura, tal como *Krameria ramosissima* y *Calliandra conferta*.

Los matorrales altos, dominados por *Helietta parvifolia*, presentan una mayor abundancia del arbusto mediano *Acacia berlandieri* y tienden a presentarse en pendientes superiores, donde el substrato de caliche está más quebrado y permite mayor penetración de raíces y el desarrollo de la vegetación.

Matorrales de sitios secos con suelo profundo. Los suelos profundos en sitios secos generalmente posibilitan el desarrollo de matorrales altos y/o altos cerrados, que son espinosos y moderadamente diversificados, o mosaicos de

este tipo de matorral y claros naturales de pastizal. En sitios planos lejos de arroyos, pequeños árboles (*Cordia boissieri*, *Prosopis leavigata* y *Condalia hookeri*) y arbustos altos espinosos (*Acacia rigidula*, *Celtis pallida*, *Pithecellobium pallens*) dominan el estrato superior, mientras que una mezcla de arbustos espinosos e inermes (*Acacia berlandieri*, *Forestiera angustifolia*, *Castela texana* y *Karwinskia humboldtiana*) contribuyen a la cobertura espesa del estrato inferior. En los mosaicos de matorral y pastizal, rodales de matorral están separados por claros de zacates, en extensiones variables. Mayor humedad promueve el desarrollo de bosque espinoso espeso de galería en sitios adyacentes a arroyos o en cuencas extensas con un alto nivel freático. En su mayor parte, árboles espinosos hasta 10m (*Prosopis leavigata*, *Acacia farnesiana*, *Pithecellobium ébano* y *Diospyros texana*) y arbustos espinosos (*Zanthoxylum fagara*, *Celtis pallida* y *Pithecellobium pallens*) de hábito semiárboreo por su altura y diámetro de fuste, dominan los bosques bajos o bajos cerrados (Reid *et al.*, 1988).

Matorral de sitios húmedos con suelo profundo. Sitios de suelo profundo, alejados de depresiones y arroyos en la zona húmeda, posibilitan el desarrollo de matorrales altos cerrados o bosques bajos cerrados. La vegetación es espesa, diversa y espinosa y los pequeños árboles y arbustos altos son de fuste múltiple y delgado. Las especies dominantes son los arbustos leguminosos, usualmente espinosos (*Acacia rigidula*, *Pithecellobium pallens*, *Eysenhardtia polystachya*, *Acacia berlandieri*) y pequeños árboles inermes (*Diospyros texana*, *Cordia boissieri* y *D. palmeri*). Una mezcla de arbustos espinosos e inermes (*Forestiera angustifolia*, *Zanthoxylum fagara*, *Randia spp.*, *Amyris texana*, *Bernardia myricaefolia* y *Celtis pallida*) y el pequeño árbol *Codittlia hookeri*, dominan el estrato inferior espeso.

Matorral de sitios húmedos con suelo somero. Las pendientes superiores sobre un substrato de caliche desarrollan matorrales altos o bosques bajos, que son moderadamente diversos, principalmente inermes y botánicamente distintos.

Los árboles generalmente inermes (*Diospyros texana*, *Gochnatia hypoleuca*, *Berberis chochoco*, *Diospyros palmeri* y *Condalia hookeri*) y una mezcla de arbustos inermes y espinosos (*Pithecellobium pallens*, *Helietta parvifolia* y *Acacia berlandieri*) dominan el estrato superior. El estrato inferior es menos denso en perfil vertical que los matorrales desarrollados en suelos profundos. Las especies que contribuyen más al estrato inferior son pequeños árboles y arbustos (*Cordia boissieri*, *Neopringlea integrifolia*, *Acacia rigidula*, *Bernardia myricaefolia*, *Bumelia celastrina*, *Randia spp.*, *Eysenhardtia polystachya* y *Zanthoxylum fagara*).

Matorral Submontano. Este matorral de 3-6 m de altura tiene su área de distribución tanto en la Planicie Costera del Golfo, como en las laderas de barlovento de la Sierra Madre Oriental, se desarrolla sobre suelos calizos o colubiales entre los 480 y los 1800 msnm, con una precipitación media anual que varía entre los 800 y 1000 mm. La composición florística y la densidad del arbolado varían según el manejo de la vegetación. Entre las especies dominantes se encuentran *Zanthoxylum fagara*, *Helietta parvifolia*, *Cordia boissieri*, *Neopringlea integrifolia*, *Acacia amentacea*, *Forestiera angustifolia*, *Diospyros texana*, *Celtis pallida*, *Bumelia sp.*, *Pithecellobium pallens*, *Rhus virens*, *Randia laetevirens*, *Pithecellobium flexicaule* y *Ehretia anacua*.

Matorral Desértico Rosetófilo. Este matorral semiárido está dominado por plantas en forma arrosetada, alcanzando esta comunidad como promedio una altura entre los 0.4 y 0.7 m, crece sobre suelos someros en lomeríos y pendientes pedregosas, algunas veces directamente sobre rocas calizas o yesos, en las exposiciones de sotavento de las cordilleras de la Sierra Madre Oriental, se distribuye en un rango altitudinal entre los 1300 a 2200 msnm, con precipitaciones medias anuales entre 500 y 600 mm. La cobertura del suelo de esta vegetación es escasa, presentándose las plantas de manera aislada en toda la superficie. Las especies más representativas de esta comunidad son *Agave lecheguilla*, *Agave sp.*, *Dasyllirion longissimum*, entre otras.

Chaparral. Esta comunidad se distribuye entre la vegetación semi árida y los bosques de pino-encino que crecen en las localidades de altura. El estrato arbustivo es dominante y alcanza una altura promedio de 0.6 m. En las inmediaciones de esta comunidad se pueden presentar pequeños rodales o árboles aislados de los géneros *Pinus* y *Quercus*. Su distribución altitudinal esta entre los 1300 y 3200 msnm, sobre los suelos superficiales, bajo una precipitación media anual de que varía entre los 800 y 1000 mm. Su composición florística la representan primordialmente especies de Encino (*Quercus spp*) encontrando se también, *Cercocarpus mojadensis*, *Cowania plicata*, *Arctostaphilos pungens*, *Amelanchier denticulata*, *Lindleyella mespiloides*, *Dalea spp.* (Treviño, 1992).

Bosque Esclerófilo de Encinos. Se localiza en las laderas Este de la Sierra Madre Oriental y se encuentra adyacente al bosque de pino-encino y al matorral alto subinermes, se caracteriza por la presencia de árboles medianos de 8 a 15 m de altura. Las principales especies que existen en este tipo de vegetación son las siguientes; *Quercus fusiformes*, *Q. laceyi*, *Q. canbyi*, *Q. glaucoides*, *Juglans spp.*, *Hicoria pecan*, *Ugnadia speciosa* y *Arbutus arizonica*. Las gramíneas más abundantes son: *Setaria texana*, *Bouteloua cutipendula*, *B. hirsuta* y distintas especies de *Brumas spp.*

Bosques de Encinos y Pinos. Esta situado en las partes altas de la Sierra Oriental adyacentes al bosque de encino. Está formado por árboles de 10 a 18 m de altura dominando especies de los géneros *Quercus* y *Pinus*. (Rzedowski, 1978).

Los ríos estudiados fueron a) Río Pablillo, b) Río Camacho y c) Río Limón.

Río Pablillo

El río Pablillo que es el origen del río Conchos a San Fernando, nace a unos 60 Km. al Suroeste de la población de Linares a elevaciones de 3000 m.s.n.m. en las proximidades de los cerros Infiernillo y Pablillo. Su dirección es en general hacia el Noreste y pasa por Linares, donde su elevación es ya de unos 400 m.s.n.m. después de haber descendido con una pendiente pronunciada y continúa por unos 30Km hasta recibir la confluencia izquierda del río Potosí de aquí siguen, ya unidos por unos 7Km hasta la confluencia derecha del arroyo de los anegados o concho para continuar con el nombre de Río Concho o San Fernando, hasta su desembocadura el Golfo de México a través de la albufera laguna madre.

Río Camacho

Esta corriente nace a unos 40 Km al Oeste-Suroeste de la población de Linares, a elevaciones de unos 2000 msnm, y corre con dirección Noreste hasta la población de Hualahuises. De aquí continúa hacia el poniente pasando por Camacho, de donde toma su nombre, confluyendo el río Pablillo por la parte izquierda, cerca del ejido – Hacienda de Guadalupe.

2.4.2. Metodología

El flujo directo se define como el volumen de agua que avanza sobre la superficie de la tierra hasta alcanzar el cauce. La palabra cauce significa cualquier depresión que pueda transportar una corriente de agua en flujo turbulento durante una lluvia y durante un periodo corto. Por otra parte, el flujo base se define como una porción del agua que se infiltra a través de la superficie de la tierra puede moverse dentro del acuífero hasta eventualmente salir en el cauce del río o fluir directamente dentro de cuerpos de agua (Linsley, 1988). Para el presente trabajo de investigación, se separaron el flujo base y directo en base al método gráfico como se presenta en la Figura 2.2.

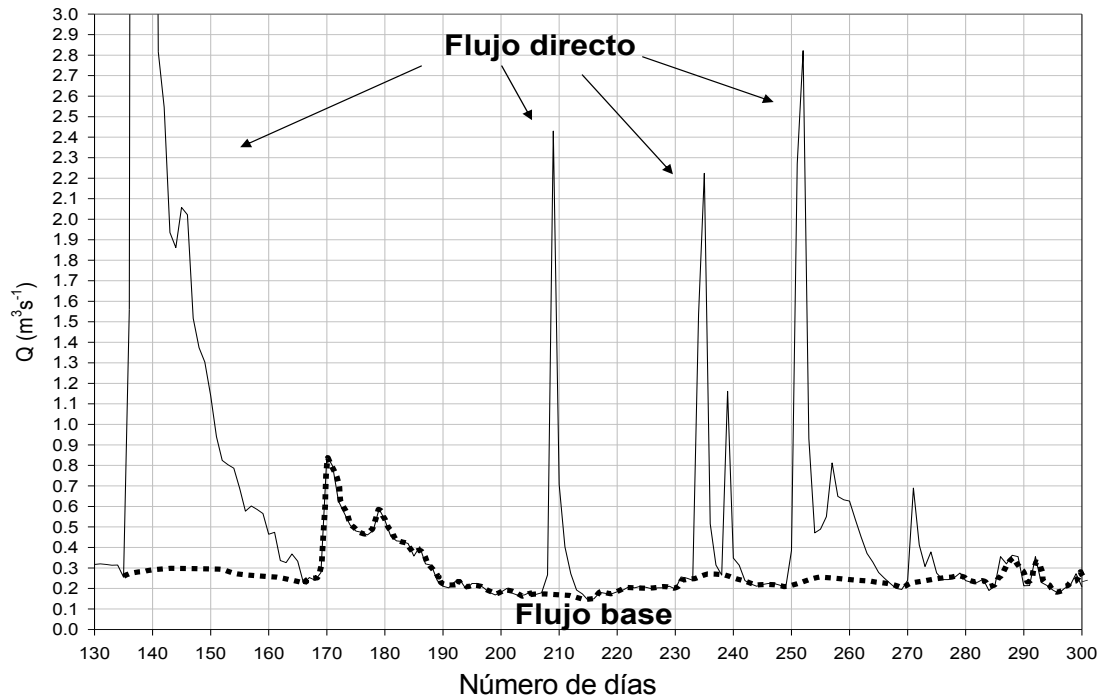


Figura 2.2. Esquema gráfico donde se representa el método de separación de hidrograma de corriente del Río Camacho para una fracción de tiempo durante el año (SIAS, 1999)

Se grafico una línea recta entre las coordenadas de inicio y el final de la salida del flujo directo. Este procedimiento supone que no existe contribución del flujo base por el agua que se esta infiltrando durante la lluvia y parece estar en lo correcto en un acuífero dominado por grietas de la formación Méndez.

Los datos hidrométricos fueron obtenidos de la base de datos del Sistema de Información de Aguas Superficiales (SIAS). Las estaciones hidrométricas estudiadas fueron: a) Pablillo, ubicada en el centro este de la mancha urbana de Linares, b) Camacho, ubicada en el centro nor-oeste de la mancha urbana de Linares y c) Limón, ubicada después de la confluencia de los Ríos Pablillo y Camacho cerca de la Hacienda de Guadalupe. Los datos climáticos se obtuvieron del programa Eric de la CNA. Las estaciones climáticas que están dentro de la subcuenca y que tienen mas de treinta años de registro fueron, Linares, Iturbide, Cerro Prieto y las estaciones hidrométricas son los ríos: Pablillo, Camacho y Limón (Figura 2.1). Ambas fuentes de datos tienen

registros de aproximadamente 58 años (1940-1998). Con los registros hidrométricos se procedió a separar el flujo directo del flujo base con el uso de gráficas de los hidrogramas de corrientes anuales.

Para obtener las estadísticas de los cambios de uso del suelo se adquirió cartografía temática de vegetación y uso de suelo obtenida por el INEGI, de la G14-11 correspondiente a la carta de Linares, donde está ubicada el área de estudio. Se compraron dos series de carta, la serie I que corresponde al año de 1976 y la serie II de 1993. Se utilizó un sistema SIG para delimitar la Subcuenca y estimar la superficie de cada uso del suelo de cada serie. Adicionalmente se digitalizaron las microcuencas dentro de la subcuenca para calcular las superficies del cambio de uso de suelo por microcuenca.

Análisis estadístico. Los datos hidrométricos (flujo base y flujo directo) y climáticos se sometieron a la prueba de Mann-Kendall y de prueba de F para detectar tendencias temporales estadísticamente lineales por métodos parámetros y no paramétricos. Se ajustaron ecuaciones de regresión para obtener la tendencia de los componentes del hidrograma en función del tiempo. Los cambios en el flujo base y flujo directo se asociaron a través de modelos físicos a los cambios de uso del suelo, cambio en parámetros climáticos y cambios en la densidad de población.

2.5. Resultados y Discusión

Los hidrogramas de corrientes para cada uno de los cauces se presentan en la Figura 2.3. Se puede apreciar el flujo base y el flujo directo siendo este último muy repentino en la subida y la bajada para los Ríos Pablillo y Camacho. Este comportamiento es clásico en cuencas donde el almacenamiento superficial del suelo es bajo, la entrada del agua al acuífero es baja y profunda, sin contribuir a la descarga durante o inmediatamente después de la lluvia. Los flujos directos dominan los hidrogramas de corrientes como consecuencia de la rápida

traslación del agua de la superficie del suelo hacia el cauce. Estadísticas demuestran que en promedio el flujo base es 10% para el río Camacho, 7% para el río Pablillo y 2% para el río Camacho en Cerro Prieto.

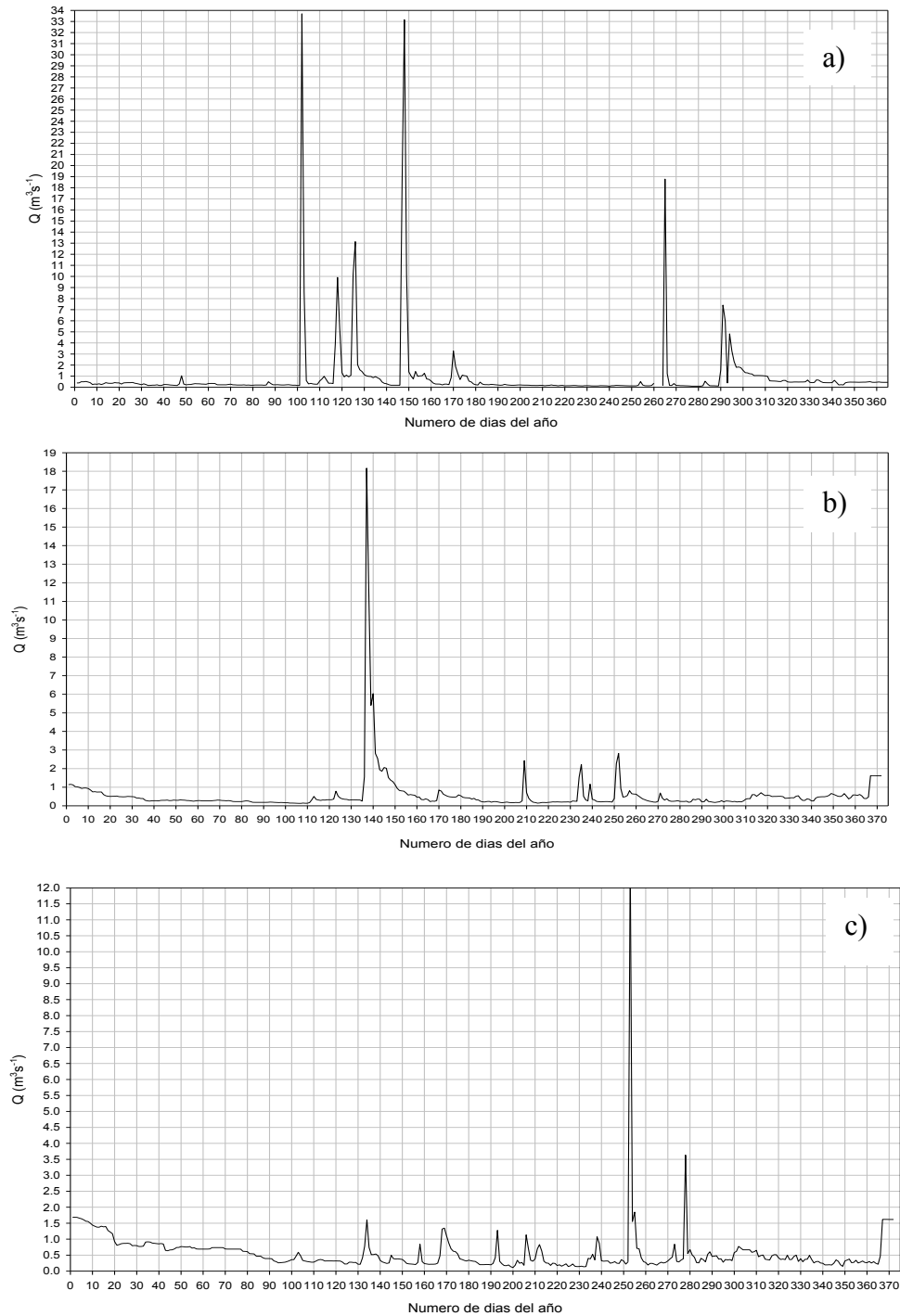
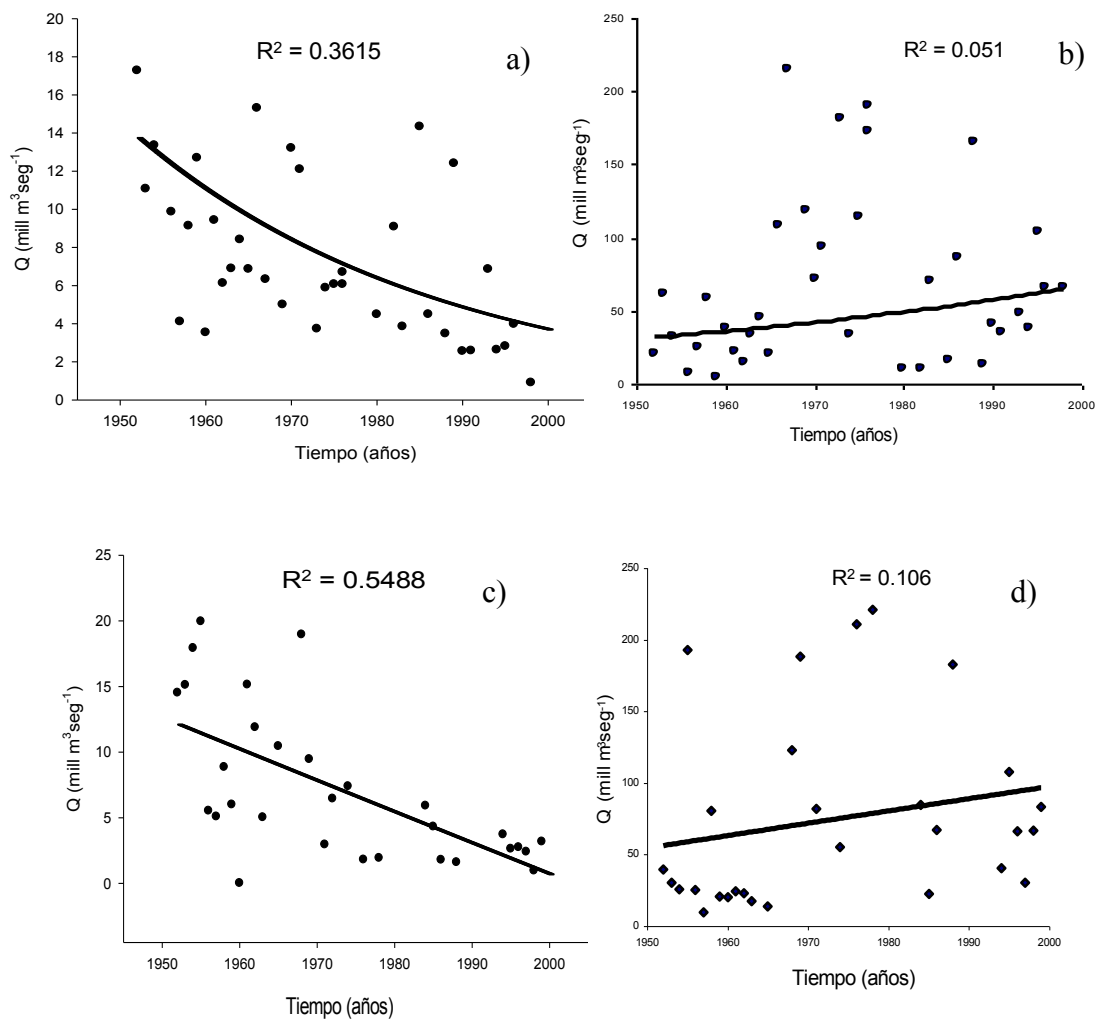


Figura 2.3. Hidrograma de corriente del flujo base y directo de las tres estaciones hidrométricas de los Ríos a) Camacho, b) Pablillo y c) Limón del año de 1998.

El análisis de Mann-Kendall y la prueba de F mostraron que el flujo base se reduce significativamente en tiempo (años) en los Ríos Pablillo, Camacho y el Río Limón en Cerro Prieto (Figuras 2.3a, 2.3c y 2.3e). Las ecuaciones no lineales ajustadas a la tendencia del flujo base en tiempo indicaron que este se reduce a una tasa de potencia de $(-54, -75 \text{ y } -65 \text{ m}^3\text{s}^{-1})$ para los Ríos Camacho, Pablillo y Limón, respectivamente. Proyecciones con esta tasa de caída muestran que el flujo base se ha disminuido de 14.5 a $3.68 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; de 13.5 a $1.99 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$; y de 17.0 a $2.35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para los ríos señalados anteriormente. Estas proyecciones en el mediano plazo indican que el flujo base podría ser 1.88, 0.77, y $1.44 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para los ríos de la subcuenca del Limón.



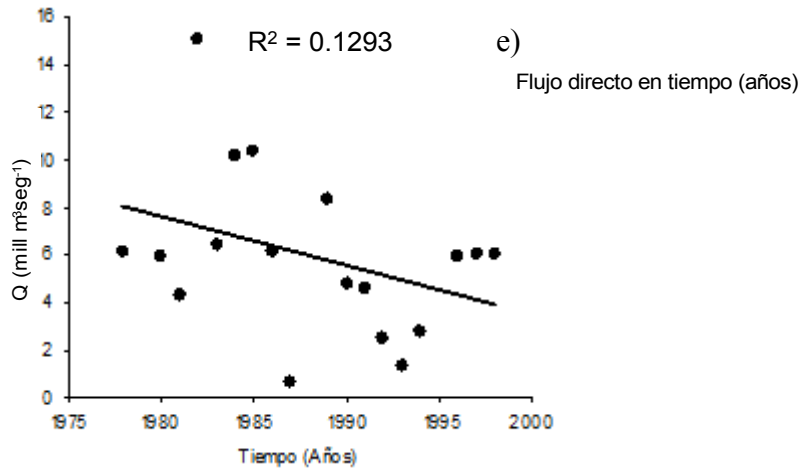


Figura 2.4. Tendencia en tiempo del flujo base y flujo directo de las estaciones hidrométricas de los caudales del Río Pablillo (a y b), Camacho (c y d), y Limón (c) respectivamente, en la subcuenca del Río Limón.

El flujo directo aumenta en tiempo para los tres ríos aunque las pruebas de Mann-Kendall y F no tuvieron significancia estadística (Figuras 2.4b, 2.4d y 2.4e y $P > F = 0.06$). De igual manera, el caudal total aumenta también en tiempo pero su significancia estadística es aun menor que para el caudal directo ($P > F = 0.13$). Esto refleja el efecto acumulado de los caudales base y directo que siguen rutas diferentes en sus tendencias.

La precipitación anual tampoco mostró tendencias estadísticamente significativas para Linares DGE ($z = 0.94$), Linares SMN ($z = -1.41$), Cerro Prieto ($z = -0.44$) e Iturbide ($z = 1.52$). Es posible que los parámetros de la precipitación como la cantidad, frecuencia y el número de días lluviosos si estén cambiando para algunas estaciones, como ha sido reportado por Méndez y Navar (2005). Cambios sutiles en parámetros de la lluvia modifican substancialmente el régimen hidrológico de los caudales, como ha sido reportado por Návar (2001) para el Río San Juan.

En la Figura 2.5 se observa la pérdida de superficies forestales durante el periodo de 1976-1993. El matorral submontano ha perdido alrededor de 3,269.42ha, seguido por el matorral espinosos tamaulipeco con aproximadamente 1,485.16ha. Los bosques de pino-encino, chaparral y mezquital también han perdido superficie pero a una tasa menor. Por otra parte, la agricultura y ganadería y las zonas urbanas han crecido. Durante estos 17 años, la agricultura de riego aumentó en 398ha y la agricultura de temporal en 2,336.35 ha.

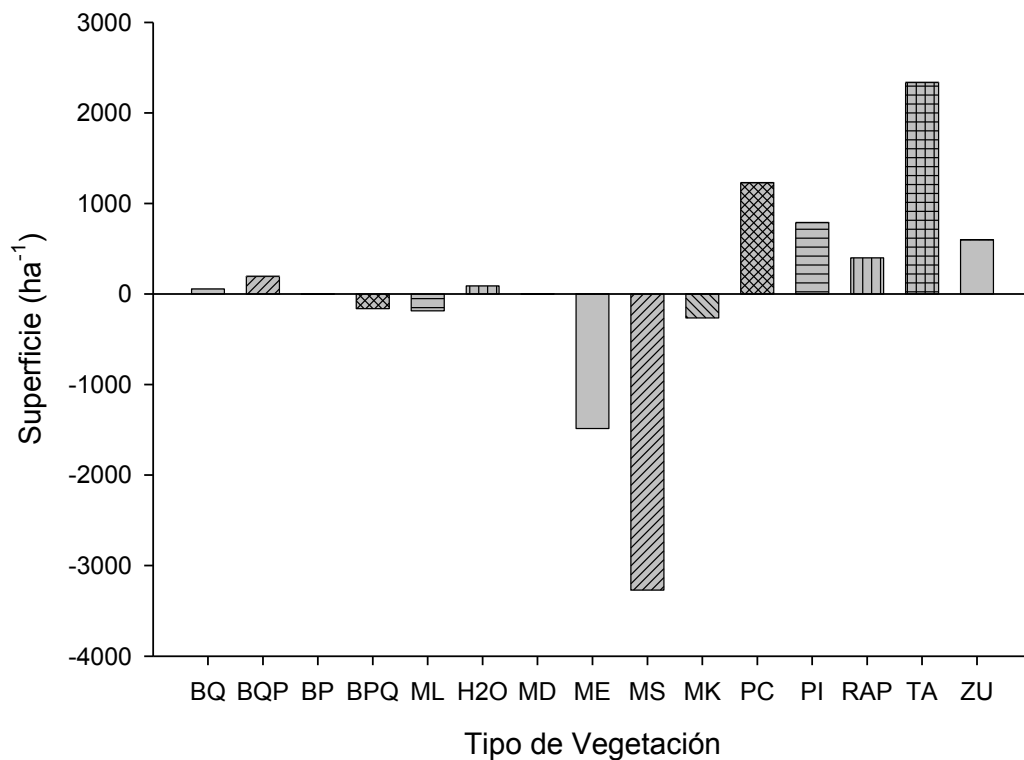


Figura 2.5. Superficies deforestadas y aforestadas de cambio y uso de suelo de la subcuenca del Río Limón, BQ = Bosque encino, BQP = Bosque de encino pino, BP = Bosque de pino, BPQ = Bosque de pino encino, ML = Chaparral, H2O = Cuerpo de agua, MD = Matorral desértico rosetofoilo/Vsa, ME = matorral espinoso tamaulipeco, MS = Matorral submontano, MK = Mezquital, PC = Pastizal cultivado, PI = Pastizal inducido, RAP = Área de agricultura de riego, TA = Área de agricultura de temporal, ZU = Zona urbana.

La tasa de deforestación en porcentaje para el matorral espinoso tamaulipeco del periodo de 1976-1993 fue del 2.27%, seguido por los bosques de pino con una pérdida de superficie del 1.41%, mientras que los mezquites y el matorral submontano tienen una tasa de deforestación del 0.96 y 0.60%, respectivamente. Las áreas que tuvieron mayores tasas de cambio positivo fueron las zonas urbanas con un 3.45%, los pastizales inducidos con 2.42%, los pastizales cultivados con 1.82%, las áreas agrícolas de riego con el 0.18% y las áreas agrícolas de temporal con el 0.59%. Por lo regular las áreas se encuentran cercanas a los cuerpos de agua cambiaron a usos agropecuarios (Figura 2.6).

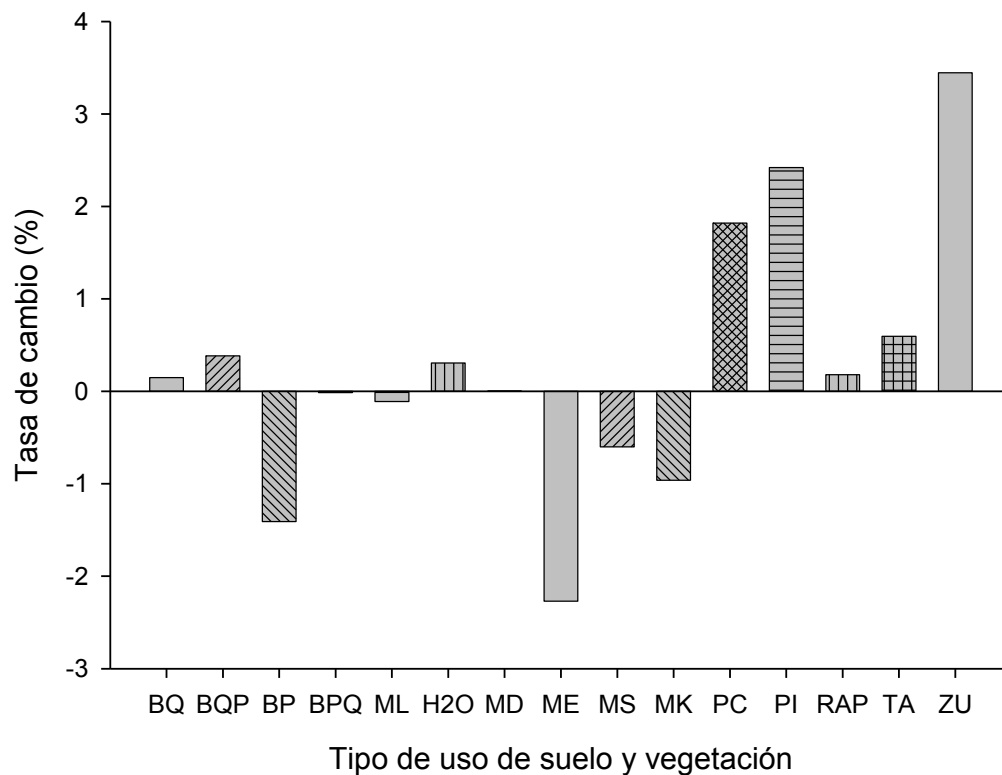


Figura 2.6. Porcentaje de superficies de uso de suelo y vegetación de la subcuenca del Río Limón, BQ = Bosque encino, BQP = Bosque de encino pino, BP = Bosque de pino, BPQ = Bosque de pino encino, ML = Chaparral, H2O = Cuerpo de agua, MD = Matorral desértico rosetofofilo/Vsa, ME = matorral espinoso tamaulipeco, MS = Matorral submontano, MK = Mezquital, PC = Pastizal cultivado, PI = Pastizal inducido, RAP = Área de agricultura de riego, TA = Área de agricultura de temporal, ZU = Zona urbana.

En la Figura 2.7 se puede observar la proyección acelerada y desacelerada de la población en la subcuenca del Río Limón. De 1950 a 1980 la población se

duplicó de 36,000 a 63,000 pero posteriormente la tasa de incremento se redujo de 80,000 en el 2000 a las proyecciones de CNAPO (1995) a 93,000 en el 2030. La tendencia es similar en el consumo del agua para uso doméstico porque el uso percapita se aproxima a los 300 litros por habitante por día. Las proyecciones sobre la superficie agrícola irrigada indican que esta creció de 14,500 ha en los 1950's a 19,300 en los 2000's. La falta de agua del flujo base y el aumento en el suministro para el uso doméstico e industrial posiblemente disminuirán la tasa de crecimiento de la superficie agrícola irrigada.

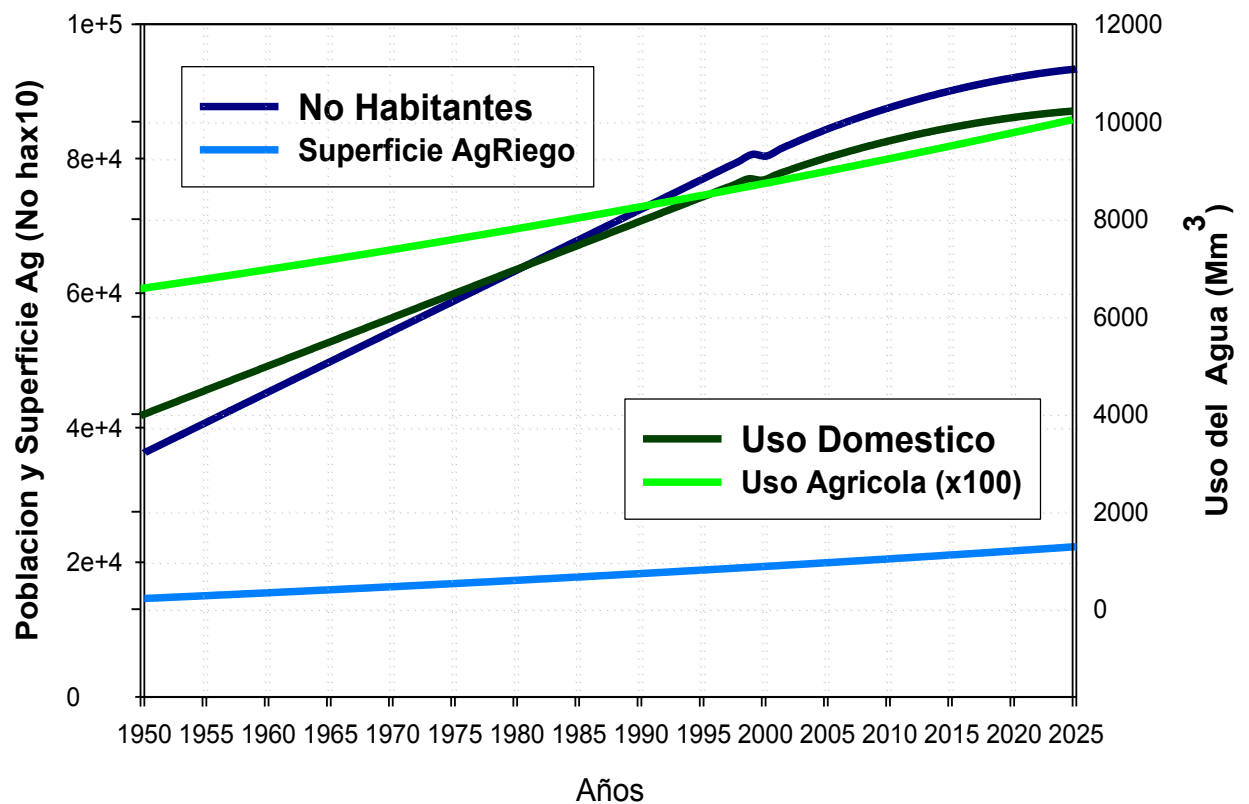


Figura 2.7. Proyección de población, de la superficie agrícola y el consumo de agua proyectado hasta el 2025.

La tasa de cambio del flujo base y del agua necesaria para satisfacer las necesidades adicionales de la agricultura se presentan en la Figura 2.8. Se observa que antes de los 1970's se podría extraer agua directamente del flujo base para satisfacer la creciente demanda del agua para la agricultura y los

excesos mostrados fueron posiblemente utilizados por la creciente población e industria de la subcuenca. Posterior a los 1970's se observa el déficit en la disponibilidad del agua a través del flujo base para satisfacer las demandas de la agricultura. Para satisfacer este déficit es posible que se hayan construido pequeñas obras de almacenaje de agua a lo largo de la subcuenca, haciendo uso del flujo directo. En la subcuenca del Río Limón se tienen alrededor de 17 represas. Estos cuerpos de agua son los que abastecen el suministro de agua para el riego en la agricultura y posiblemente para la industria y el municipio.

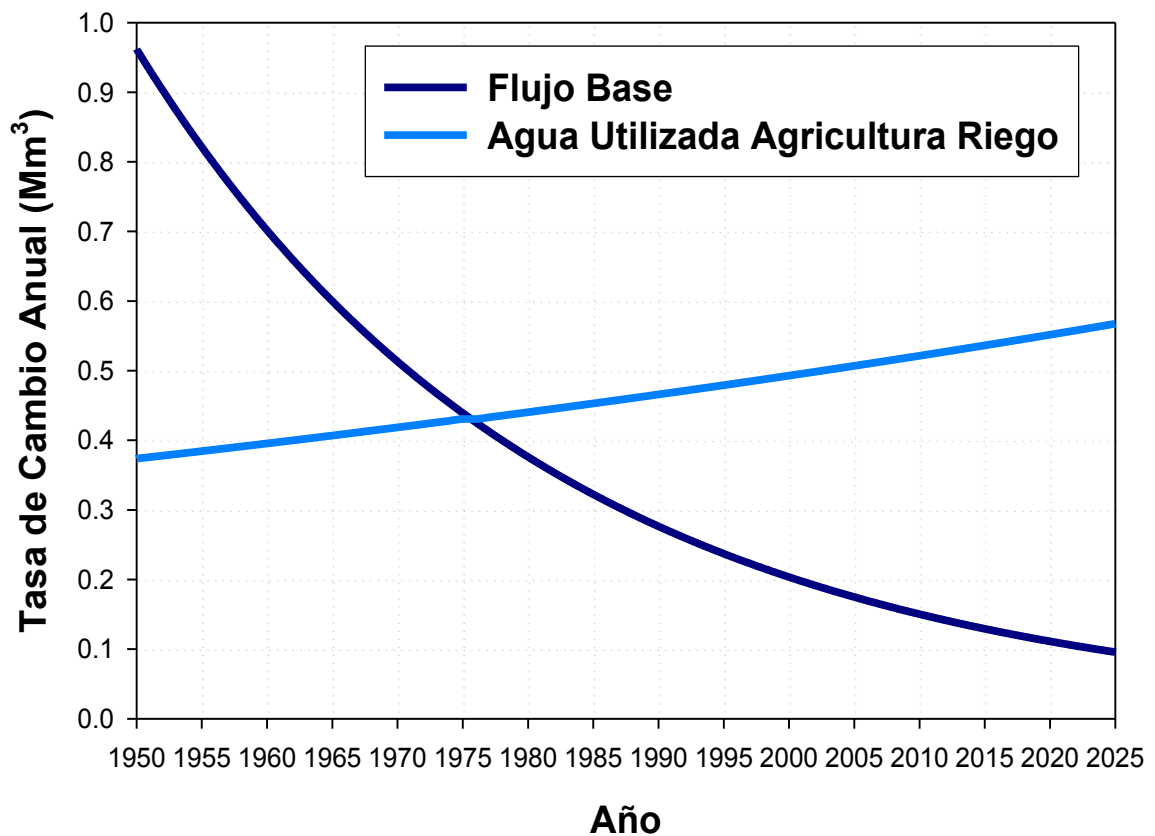


Figura 2.8.- Tasa de cambio anual del flujo base y del agua utilizada en la agricultura de riego en la subcuenca del Río Limón.

El aumento, aunque no significativo, del flujo directo se debe a los cambios de uso del suelo. Navar y Synnott (2000) observaron aumentos notorios en la escorrentía superficial de los suelos cuando se transforman los matorrales

tamaulipecos a zonas agrícolas. La urbanización contribuye al flujo directo por la eliminación total de la infiltración de la lluvia.

Las tendencias hacia una mayor presión por el agua superficial de los ríos de la subcuenca del río Limón están acordes con las proyecciones para muchos países del mundo semi árido (Postel, 2000; Schamndt et al., 2000). Esta presión ocasiona la transformación de ríos perennes en intermitentes o efímeros, ocasiona la desaparición de ecosistemas ripáricos, corredores de diversidad biológica importantes en regiones áridas y semi áridas, limita el desarrollo regional, contribuye con una menor dilución de los contaminantes, entre otros.

Estos problemas se agudizan en la presencia de sequías como ha sido notado por varios investigadores (UNESCO'WMO, 1999; IPCC, 2001). La solución parcial a la problemática es eficientizar el uso del agua y ampliar el suministro por el uso parcial del flujo directo (UNCED, 1992). En la eficiencia se requiere de nuevas tecnologías de riego, mejores sistemas de conducción y transporte de agua, entre otras. El aumento en el suministro a partir del control parcial del flujo directo con la construcción de obras de almacenamiento debe de realizarse con cuidado pues de los flujos directos depende la dinámica de establecimiento de ciertas especies ripáricas.

2.6. Conclusiones

En conclusión la crisis del agua en Linares Nuevo León. es preocupante y la tendencia es a agravarse en el futuro inmediato por la reducción de los flujos base y el incremento en el caudal directo. Los cambios de uso del suelo, el aumento de la población, y como consecuencia o a consecuencia del crecimiento industrial, son causantes de los cambios en el régimen hidrológico. Se recomiendan las prácticas de uso y manejo sustentables de los recursos hidrológicos tales como el aumento en la eficiencia del uso y el manejo de los

caudales directos excedentes del cambio para satisfacer las necesidades domésticas, industriales, agrícolas y ambientales.

2.7. Bibliografía

Aguilar F. S. 1997. El reto del medio ambiente: Conflictos e intereses en la política. Madrid: Editorial Alianza.

Aparicio, M.F. 1989. Fundamentos de Hidrológica de superficies. Editorial Limusa. México.

IMTA, Banco Nacional de Datos de Agua Superficiales. Cd - Vol 4, 2000

CONAPO, Consejo Nacional de Población. 1996. Estimaciones y proyecciones de la población. CONAPO, México. D.F.

CONAPO, Consejo Nacional de Población. 2000. Estimaciones y proyecciones de la población. CONAPO, México. D.F.

Chanlett, E. T. 1973. Environmental Protection. McGraw-Hill.

Chapra, S. (1996) Surface Water Quality Modeling, preliminary edition. McGraw-Hill.

De León, G.H. 1991. Aspectos Hidrogeológicos generales de la Cuenca del Río Pablillo, Linares, N.L., México. En: Memoria del primer Simposio Regional "avances, perspectivas de la investigación de recursos abióticos del NE de México". U.A. de Tamaulipas; Cd. Victoria, Tamp. México

Doorenbos, J., and A.H. Kassam. 1979. Yield responses to water. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Flores., L. J. y J. Návar (2003). An Assessent of Stream water Quality of the Rio San Juan, Nuevo Leon, Mexico, 1995-1996.Reprinted Fromm the Journal of Environmental Quality. Volume 31, no 4, July-Aug. 2002. SSSA 677 South Segoe Rd., WI 53711 USA.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen (para adaptarlo a las condiciones de la Republica Mexicana). 4ª. Edición. U.N.A.M., México, D.F.

- Guerra, P. S. 2000. Evaluación de la vegetación riparia, insectos acuáticos y peces influenciados por las variaciones en la calidad y cantidad de los caudales de la cuenca del Río San Juan, Nuevo León México.
- INEGI (2001): Información estadística de los estados en la Republica Mexicana. www.inegi.gob.mx
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. Impacto adaptation, and vulnerability. Summary For Policy Makers. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 17 pp.
- Lizarraga., M. L. 2003. Análisis y Evaluación del agua subterránea del área del tiradero municipal y la petaca, Linares, N. L., México. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias de la Tierra. UANL. México.
- Lynsley, R. K. Kohler, M. A. Paulhus. (1988). Hidrología para ingenieros. Segunda edición, editorial McGraw-Hill/Interamericana de México.
- Méndez, J. y J., 2005 Navar, Tendencia espacios temporales de parámetros de precipitación, temperatura máxima y mínima en México, 1940-1948. en preparación.
- Návar, J. 2001. Water supply and demand scenarios in the San Juan watershed. *Geofísica Internacional*., 40, (2):121-134
- Navar, J. 2004. Water scarcity and degradation of aquatic ecosystems in the Rio San Juan watershed of northeastern Mexico.
- Návar, J., T. Cavazos & P. A. Domínguez. 1994. Los balances hidrológicos mensuales con tres probabilidades de precipitación en el estado de Nuevo León. En: C. Polas., J. A. Ramírez F., M.M. Rangel R. & I. Navarro-L. (Eds.) *Actas Facultad Ciencias Tierra UANL Linares*, 8:
- Návar J, y T. J. Synnott. 2000. Surface runoff, soil erosion and Land use in Northeastern, México. *Facultad de Ciencias Forestales-UANL: Terra* 18 (3) 247-253.
- Padilla y Sánchez R.J. (1978): Bosquejo geológico-estructural de la Sierra Madre Oriental en el área Linares-Galeana-San Roberto, Estado de Nuevo León *Revista del Instituto de geología, U.N.A.M.*, Vol. 2, no. 1pp. 45-54
- Pissani, J.F. 1992. Estudio y Diagnóstico de las cuencas Galeana y Mimbres. Dpto. de Ingeniería Agrícola, Fac. de Agronomía, UANL. SARH, Delegación estatal en Nuevo León, Marín Nuevo León México. 157 pp.

- Postel, L.S. 2000. Entering an era of water scarcity: the challenges ahead. *Ecological Applications* 10 (4): 941-948.
- Reyes, F. G. 2000 Evaluación de la desertificación en la subcuenca "Río Limón" en el Estado de Nuevo León. Tesis de Maestría. Llares, Nuevo León, México. Facultad de Ciencias Forestales UANL.
- Rangel-Rodríguez (1989): hidrogeología de la Ciudad Universitaria de la Universidad Autónoma
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. De. Limusa. México.
- Secretaria de programación y presupuesto (SPP) 19886. Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León. México.
- Schmandt, J., I. Aguilar, N. Armstrong, L. Chapa, S. Contreras, R. Edwards, J. Hazelton, M. Mathis, J. Návar, E. Vogel, and G. Ward. 2000. Water and sustainable development. Executive Summary. EPA research Agreement R 824799-01-0. March 31, 2000.
- Swank, W. T., L. W. Swift, and J.E. Douglass. 1988 Streamflow changes associated with forest cutting, species conversions, and natural disturbances. Pp. 297-312. In: W.T. Swank and D.A. Crossley Jr. (eds). *Forest hydrology and ecology at Coweeta*. Springer Verlag, New York.
- UNCED. 1992. United Nations Conference on Environment and Development, Agenda 21, Chapter 18. Sections 8 and 9. Rio de Janeiro, Brazil.
- UNESCO. WMO. 1999. Reporte de 1999. Ginebra Suiza. El Norte 9. De Febrero de 1999. Monterrey, N.L., México.

